الكيمياء في حياتنا

أمل ابراهيم اسماعيل



www.darsafa.net

الكيمياء في حياتنا

أمل إبراهيم إسماعيل

الطبعة الأولى

2013 م – 1434 هـ



الكيمياء في حياتنا

تأليف : أمل إبراهيم إسماعيل

الطبعة الأولى

2013 م – 1434 هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان ـ شارع الملك حسين

مجمع الفحيص التجاري ـ تلفاكس 4612190 6 962+

هاتف: 4611169 6 962+ ص . ب 922762 عمان ـ 11192 الأردن

DAR SAFA Publishing - Distributing
Telefax: +962 6 4612190- Tel: + 962 6 4611169
P.O.Box: 922762 Amman 11192- Jordan
http://www.darsafa.net
E-mail:safa@darsafa.net

الفهرس

المقدمة 11

الفصل الأول

كيمياء الطاقة

المصادر الحالية للطاقة.. 15
نظريات تفسير منشأ البترول الخام 22
تكرير البترول 24
التكسير.. 28
تقييم البترول Crude Oil Evaluation.. 32
كثافة البترول الخام Crude Oil Gravity.. 33
اللزوجة Viscosity 33
نقطة الأنيلين Aniline Point 34
القيمة الحرارية 35
مدى التقطير.. 35
نسبة الكبريت Sulfur Content... 35
أساس النفط الخام Crude oil Base.. 35
نقطة الانسكاب Pour Point... 36
معامل التمييز Characterization Factor, K 37
نسبة الأملاح Salt Content 37
الكربون المتبقي Carbon Residue 38
طريقة تعيين درجة الوميض.. 39
رقم الأكتان Octane Number 39

جازولين السيارات Motor Gasoline 40
النافثا Naphtha 41
الكيروسين Kerosen 41
وقود الطائرات Jel Fuel 42
وقود الديزل Diesel Fuels 43
زيوت الوقود Fuel Oils 45
زيوت التزييت Lubricating Oils 46
مصادر الطاقة البديلة 47
الطاقة النووية 75
تركيب المادة 75
الطبيعة الكهربائية للذرة Electrical Nature of the Atom 75
النشاط الإشعاعي 77
النظائر Isotopes 79
التفاعلات النووية Nuclear Reactions 82
مواد المفاعلات النووية Materials for Nuclear Reactions 85
مواد الوقود Fuel Materials 86
مواد التهدئة 87
مواد التغليف 88
مواد التبريد 88
مواد التحكم 89
تاريخ المفاعلات 90
مفاعلات القوى 95

اليورانيوم.. 103
الاحتراق... 110
تصنيع الوقود.. 112
وقود الأكسيد.. 112
البلوتونيوم... 113
البريليوم.. 120

الفصل الثاني
كيمياء المواد

بعض المعادن المهمة.. 125
الصوديوم.. 134
المغنيسيوم.. 136
الألمنيوم.. 137
الحديد... 139
الصلب... 142
النحاس.. 145
الرصاص.. 146
الزنك.. 147
الذهب.. 147
القصدير.. 148
النيكل.. 148
الكروم... 149
البلاتين.. 149

الكوبلت 149
المنجنيز 150
الفضة 150
الزئبق 150
فلزات هامة أخرى 151

الفصل الثالث

كيمياء إنتاج الطعام

دور الكيمياء في مجال الغذاء 155
الكربوهيدرات 155
الدهون 156
البروتينات والأنزيمات 158
الفيتامينات 160
فيتامين أ Vitamin A 162
فيتامين ب المركب Vitamin B complex 163
الثيامين فيتامين Thiamine 163
الرايبوفلافين RiboFlavine 163
النياسين Niacin 164
البايريدوكسين Pyridoxine 164
حمض البانتوثنيك Pantothenic Acid 164
البيوتين Biotin 165
حمض الفوليك Folic Acid 165
سيانوكوبالامين Cyanocobalamine 166

فيتامين ج Vitamin C 166
فيتامين د Vitamin D 167
فيتامين ك Vitamin K 168
فيتامين E Vitamin E 168

الفصل الرابع

استخدامات أخرى للكيمياء

الكيمياء في المنزل........ 173
الينابيع........ 174
الآبار........ 174
ماء النهر........ 174
الكيمياء الحربية 199
الأسلحة الكيماوية........ 199
المواد الحارقة 208
نماذج من الصناعات الكيميائية العضوية وغير العضوية 211
المبيدات الحشرية 214
مبيدات الأعشاب........ 217
الأضرار الناشئة عن استخدام المخصبات والمبيدات 218
الأسمدة 219
الصابون 222
المنظفات........ 222

المقدمة

إن الكيمياء من العلوم النافعة ودلالة ذلك ما نراه حولنا من تطبيقاتٍ وصناعاتٍ اعتمدت على مبادىء ومفاهيم الكيمياء بشكل أساسي.

إن من أجلّ الأعمال أن نستخدم العلم في خدمة البشرية لا في تدميرها ومن هنا فقد عُرِضَ في هذا الكتاب جانباً مهماً من استخدامات الكيماء في شتى المجالات وقد بيَّن هذا الكتاب عدداً من تطبيقات الكيمياء مثل: الكيمياء والطاقة، والكيمياء وانتاج الطعام، وقد عُرِضَ الجانب السلبي من تطبيقات الكيمياء من خلال الكيمياء الحربية.

يلاحظ القارئ لهذا الكتاب اتباع الأسلوب المبسط والسهل لعامة الناس ويلاحظ أيضاً أنه غير موجه إلى فئة معينة.

من المهم أن يفهم الإنسان ما يدور حوله وكيف تُصنع الأشياء وفيما تُستخدم المواد والعناصر والمركبات لأن فهم مثل هذه الأمور يجعلنا نتعامل معها بطريقة مختلفة، كما أنه يجعل دراسة العلوم شيئاً ممتعاً.

والله ولي التوفيق

الفصل الأول

كيمياء الطاقة





الفصل الأول

كيمياء الطاقة

المصادر الحالية للطاقة:

المقصود بالمصادر الحالية للطاقة تلك المصادر التي تزود البشر بالجزء الأساسي والأكبر من احتياجاتهم من الطاقة. فللآن ما زال بعض الناس يعتمدون على أخشاب الأشجار في تلبية جزء من متطلباتهم من الطاقة كما أن بعضهم الآخر مازال يعتمد على الحيوانات في التنقل وحمل الحاجيات والحراثة. ونجد بعضهم يستخدم مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية والهوائية للحصول على بعض متطلباته من الطاقة. إلا أن هذه المصادر مجتمعة ليست ذات قيمة كمية تذكر بالمقارنة مع ما يستهلكه الإنسان من مصادر أخرى.

ويمكننا تقسيم مصادر الطاقة الحالية في العالم إلى ثلاثة أقسام أساسية:

1. مصادر الطاقة الأحفورية وهي التي تشكل عصب مصادر الطاقة الحالية وتضم:

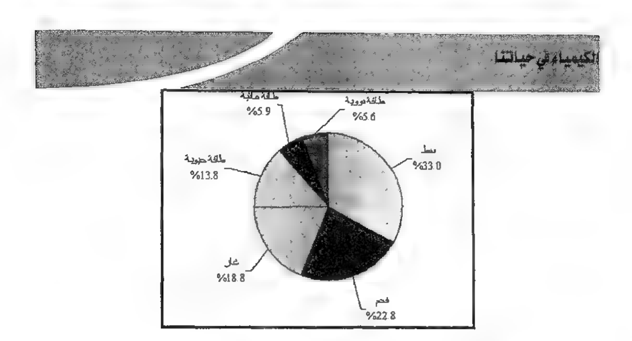
   (أ) الفحم بأنواعه المختلفة.

   (ب) الغاز الطبيعي.

   (جـ) النفط.

2. مصادر مائية والمقصود بذلك مصادر الطاقة الكهربائية في مساقط الأنهار.

3. الطاقة النووية ويقصد بها محطات توليد الطاقة الكهربائية باستعمال الحرارة الناتجة عن عمليات الانشطار النووي في المفاعلات النووية.



1) المصادر الأحفورية:

تقول النظرية الشائعة في تفسير تكون مصادر الطاقة الأحفورية أنها تكونت جميعاً من تحلل كائنات حية في بيئة معدومة الهواء. وقد نتج عن هذا التحلل تكون مواد عديمة التأثر بعمليات التحلل اللاحقة. بمعنى أن عمليات التحلل اللاحقة لم تؤثر في مخزون الطاقة في هذه المواد وإن كانت قد أحدثت بعض التغيير في تراكيبها العضوية. وتشترك مصادر الطاقة الأحفورية. في أنها تتكون جميعاً من مواد هيدروكربونية (مركبات الكربون والهيدروجين) إضافة إلى نسب مختلفة من شوائب أخرى كالماء والكبريت والأوكسجين والنتروجين وأكسيد الكربون. وتختلف نسبة الكربون والهيدروجين في المصادر الأحفورية من مصدر إلى آخر، فالفحم مثلاً يتكون من الكربون بشكل أساسي وبشكل عام كلما ارتفعت نسبة الكربون أو الهيدروكربونات في المادة ارتفعت كمية الطاقة المخزونة فيها، وتتكون مصادر الطاقة الأحفورية من المواد التالية.

أ) الفحم:

ظهرت أهمية الفحم الجري كمصدر للوقود في عصر الثورة الصناعية في أوروبا الغربية ومنها انتشر استعماله إلى بقاع أخرى من الأرض حيث يتوفر مخزون

منه. ويندرج ضمن مفهوم الفحم الجيري عدة أنواع من الوقود تختلف في تركيبها العضوي وكمية الطاقة المتوفرة في وحدة الوزن منها وأهم أنواع الفحم هي:

I) الخث:

يعتبر الخث الحلقة الأولى في مسلسل تكون الفحم بمعنى أنه لم يتحول إلى فحم بصورة نهائية بل يتميز بوجود بقايا النباتات فيه. والخث مادة طرية بالمقارنة مع أنواع الفحم الأخرى ويحتوي على نسبة كبيرة من الماء تصل إلى 90٪ ويحتوي على نسبة قليلة من الكربون وبعض المواد المتطايرة.

يبلغ احتياطي العالم من الخث حوالي ثلاثمائة ألف مليون طن ويقدر معدل الاستهلاك بحوالي تسعين مليون طن في السنة. ومن المتوقع أن يجري استغلال هذا المصدر على مستوى واسع خاصة إذا طال أمد أزمة مصادر الطاقة التي يعيشها العالم. وتتركز الاستعمالات الحالية للخث على تزويد المنازل ببعض احتياجاتها من الطاقة الحرارية وفي محطات توليد الطاقة الكهربائية.

يمتلك الاتحاد السوفيتي وأوروبا وشمال أمريكا معظم الخث الموجود في العالم (حوالي 97٪) ويملك الاتحاد السوفيتي وحده حوالي 61٪ من موارد العالم من الخث.

II) الفحم البني:

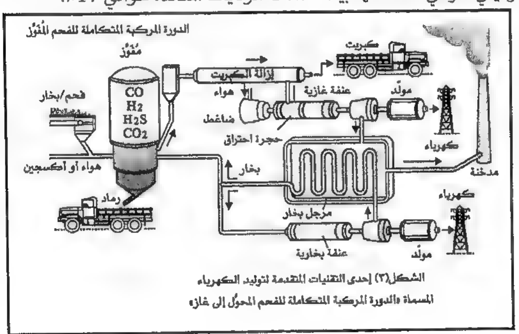
يقع الفحم البني في الحلقة الثانية في سلسلة تكون الفحم بعد الخث، وهو يحمل الكثير من خصائصه كاحتوائه على نسبة عالية من الماء والمواد المتطايرة، ويوجد الفحم البني في وسط أوروبا حيث يستعمل في العديد من الأغراض الصناعية وفي محطات الطاقة الكهربائية، يقدر مخزون العالم من الفحم البني بحوالي 2 تريليون طن (تريليون يساوي مليون مليون)، يوجد حوالي 70٪ منها في

محمد عموش

الاتحاد السوفيتي وحوالي 20٪ في الولايات المتحدة، ويتوزع الباقي بين كندا ودول أوروبا.

III) الفحم القطراني:

يدعى الفحم القطراني بهذا الاسم لأنه ينتج مادة قطرانية عند تقطيره لإنتاج الغاز وفحم الكوك، ويحتوي الفحم القطراني على 30 – 40٪ من المواد المتطايرة المتكونة من مواد هيدروكربونية والتي تستعمل في إنتاج الغاز، كما يحتوي على نسبة قليلة من الماء، ويشكل الفحم القطراني الجزء الأكبر من احتياطي العالم من الفحم وهو أكثر الأنواع استعمالاً وانتشاراً، كما يبلغ مخزون العالم من الفحم القطراني حوالي 6.7 تريليون طن يمتلك الاتحاد السوفيتي حوالي 62٪ منها بينما تمتلك الولايات المتحدة حوالي 17٪.



الشكل(٢) إحدى التقنيات المتقدمة لتوليد الكهرباء المسماة «الدورة المركبة المتكاملة للفحم المحوّل إلى غاز»

الدول الرائدة في تصدير الفحم الحجري
أطنان الفحم المستخرجة في عام

الصين	١.٣٤٠.٩٠٠.٠٠٠	طن متري
الولايات المتحدة	٩٣٧.١٠٠.٠٠٠	طن متري
الهند	٢٨٢.٢٠٠.٠٠٠	طن متري
روسيا	٢٨١.٣٠٠.٠٠٠	طن متري
ألمانيا	٢٤٨.٨٠٠.٠٠٠	طن متري
أستراليا	٢٤٣.١٠٠.٠٠٠	طن متري
جنوب إفريقيا	٢٠٦.٢٠٠.٠٠٠	طن متري
بولندا	١٩٧.٤٠٠.٠٠٠	طن متري
كازاخستان	٨٣.٢٠٠.٠٠٠	طن متري
أوكرانيا	٨٢.٩٠٠.٠٠٠	طن متري

الأرقام لعام ١٩٩٥م.
المصدر: إدارة إعلام الطاقة، الولايات المتحدة

وتمتلك الصين نسبة مقاربة، أما الجزء الباقي والذي يبلغ حوالي 5٪ من المخزون فينتشر في أوروبا واستراليا واليابان والهند ومناطق أخرى.

ب) الغاز الطبيعي:

يقع الغاز في المرتبة الثالثة من حيث الأهمية في استهلاك العالم من الطاقة بعد الفحم والنفط. إذ يشكل الغاز 18٪ من مجمل الاستهلاك العالمي، وكما في حالة النفط فليس هناك نظرية متكاملة لتفسير كيفية تكون الغاز تاريخياً، فهناك مثلاً الغاز المصاحب للنفط الذي تنحو النظريات العلمية إلى ربط تكونه بالعوامل التي أدت إلى تكون النفط نفسه، وهناك حقول الغاز الطبيعي حيث يوجد الغاز وحده دون النفط ثم هناك نوع آخر من الغاز الذي يعتقد أنه تكون بتأثير العوامل التي أدت إلى تكون الفحم، ولهذه الأسباب مجتمعة فإن تقدير المخزون من الغاز أمر أكثر صعوبة من تقديره في حالة الفحم والنفط.

ويشكل الميثان الجزء الأساسي من تركيب أنواع الغاز المختلفة يليه بعد ذلك الإيثان.

وبالإضافة إلى المركبين السالفي الذكر هناك نسب مختلفة من البروبان والبيوتان والنيتروجين وأوكسيد الكربون ومركبات كبريتية ويؤدي اختلاف التركيب هذا إلى اختلاف في قيمة الطاقة في الأنواع المختلفة من الغاز، فالغاز المستخرج من ألمانيا مثلاً يحتوي على نصف قيمة طاقة الغاز المستخرج من الكويت (في ذات وحدة الحجم).

ويبلغ احتياطي العالم من الغاز حوالي 2600 تريليون قدم مكعب يمتلك الاتحاد السوفيتي حوالي 30٪ منها والولايات المتحدة حوالي 10٪ والدول العربية حوالي 15٪.

أما الدول غير العربية في منظمة الأوبك فتمتلك حوالي 20٪ من الاحتياطي العالمي ويتوزع الجزء المتبقي بين العديد من دول العالم في مختلف القارات.

جـ) البترول الخام:

يطلق مصطلح البترول الخام على مخاليط الهيدروكربونات السائلة (الهيدروكربونات هي مركبات تتكون فقط من كربون C وهيدروجين H) والمركبات المتعلقة بذلك والتي يمكن تصعيدها في أنابيب آبار النفط إما:-

- ❖ تحت الضغط الموجود في حقل النفط.
- ❖ أو بالضخ الآلي.
- ❖ أو بضغط الغاز الخارجي.

ويستثنى من التعريف السابق بعض صور الهيدروكربونات مثل الغاز الطبيعي والغاز المصاحب وكذلك تلك التي تكون عادة سوائل متطايرة نسبياً وتسمى مكثفات الغاز.

وتتميز مكثفات الغاز بإمكانية تبخيرها كلية، بينما لا يتبخر البترول الخام لاحتوائه على بعض المركبات ذات الأوزان الجزيئية العالية التي تبقى بعد التقطير وتسمى البواقي.

ويكون النفط الخام بعد فصل الغازات عنه في صورة سائلة في درجة حرارة الغرفة أو أعلى قليلاً وتتراوح كثافة بين 1.000kg/L – 0.780 عند $15C^{o}$.

منشأ البترول الخام:

أغلب النظريات المتعلقة بمنشأ النفط تفترض منشأ نباتياً قريب الشبه بتكون الفحم الحجري ومن الناحية النظرية يمكن تحويل كل المواد العضوية إلى نفط تحت ظروف مناسبة.

وهناك أيضاً اتفاق عام بأن البترول تكون من مواد عضوية قرب السواحل وفي وجود رواسب بحرية، في شحة من الأكسجين، وفي وجود معادن تحولت تحت الضغط الشديد ومع الزمن إلى الحجر الجيري والدولوميت والحجر الرملي وصخور مشابهة.

ولعل تركيز المواد العضوية ليس كبيراً في الترسبات الأساسية ولكن الغاز والسوائل النفطية ربما هاجرت وتجمعت في مكامن مناسبة لتجمعها وخلال أحقاب من الزمن ربما تحولت الكربوهيدرات والبروتينات بفعل البكتيريا تاركة الزيوت الدهنية التي تتميز بمقاومتها لفعل البكتريا والتفكك الكيميائي.

نظريات تفسير منشأ البترول الخام:

وقد عرف العالم ثلاث نظريات لتفسير منشأ البترول الخام.

1) النظرية الأولى: نظرية الكربيد:

هذه النظرية اقترحها العالمان مندليف وموبسوف. وقد افترض العلماء أن الأرض عند انشقاقها من الشمس احتوت عناصر في درجات حرارة عالية تفاعلت مكونة الكربيدات المختلفة:

$$Ca + 2c \longrightarrow CaC_2$$
$$4AL + 3C \longrightarrow AL_4C_3$$
$$Mg + 2C \longrightarrow MgC_2$$

وفي درجات الحرارة المرتفعة والضغط تفاعلت الكربيدات مع الماء معطية مركبات عضوية مختلفة.

$$CaC_2 + H_2O \longrightarrow HC{\equiv}CH + CaO$$
$$AL_4C_3 + 12H_2O \longrightarrow 3CH_4 + 4AL(OH)_3$$

وهكذا افترض مندليف وزميله حدوث تفاعلات كيميائية أخرى تنتج أنواعاً أخرى من المركبات العضوية بعمليات مثل الهدرجة والأزمرة والألكلة والبلمرة وغيرها:

$$HC{\equiv}CH + H_2 \longrightarrow CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{H_2} CH_3{-}CH_3$$
$$2H_2C{-}CH_2 \longrightarrow CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3$$
$$3CH_2{=}CH_2 \longrightarrow C_6H_{12}\ (\text{cyclohexane})$$
$$3HC{\equiv}CH \longrightarrow C_6H_6\ (\text{Benzene})$$
$$CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3 \xrightarrow{\text{أزمرة}} CH_3CH_2{-}CH{=}CH_2$$

عيوب النظرية الأولى "نظرية الكربيد":

رغم أن هذه النظرية فسرت تكون النفط من الكربيدات، واستطاع منديليف وموسوف تحضيره معملياً باستخدام العمليات الكيميائية المختلفة، إلا أن هذه النظرية أخفقت في تفسير:-

1) تواجد المركبات النيتروجينية والكبريتية في النفط الطبيعي، علماً بأن هذه المركبات لم توجد في النفط الذي حضره منديليف وموسوف.

2) وجود الكلوروفيل والهايمين والمواد المشعة والملح وبعض الأحافير في النفط الخام الطبيعي.

2) النظرية الثانية: نظرية العضوية:

جاء العالم أنجلر في عام 1900م بنظرية عرفت بإسم النظرية العضوية. وقد استهدفت هذه النظرية تفسير وجود المركبات الكبريتية في النفط الخام بافتراض حدوث براكين انتجت كبريتاً تفاعل مع الهواء معطياً ثاني أكسيد الكبريت (So_2) وثالث أكسيد الكبريت (So_3) الذي نتج عنه حمض الكبريتيك (H_2So_4). وعندما ذات حمض الكبريتيك في الماء تسممت الأسماك وماتت، وفي بركان آخر ردمت الأسماك الميتة في قاع البحر وتحولت مع الزمن إلى النفط الخام.

وقد فسرت هذه النظرية وجود مركبات الكبريت والنيتروجين وقامت على افتراض تكون النفط من أصول حيوانية. ومن الواضح أنها استخدمت قدراً كبيراً من التحكم العقلي.

عيوب النظرية الثانية "النظرية العضوية":

أخفقت هذه النظرية في تفسير وجود الكلوروفيل في النفط الخام. وكذلك الصمغيات الكثيرة والتي تدل على وجود قدر من الزيوت الكاروتينية.

3) النظرية الثالثة: النظرية الحديثة:

وتفترض هذه النظرية منشأ بيولوجيا للنفط الخام حيث دفنت غابات ما قبل التاريخ في بعض مناطق العالم بما تحويه من الأشجار والحيوانات البرية والبحرية. وتحت ظروف الحرارة العالية والضغط ثم كثير من التفاعلات الكيميائية وتكون النفط الخام. ويعتقد أن للإشعاع والبكتيريا دوراً كبيراً في هذه التفاعلات.

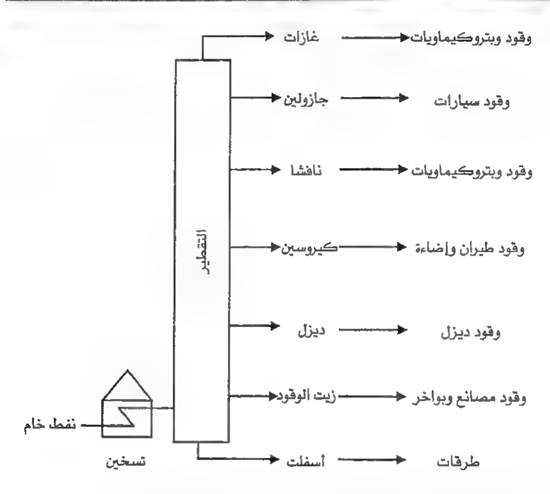
ميزة النظرية الحديثة:

- ❖ أعطت هذه النظرية تفسيراً مقبولاً لنشأة النفط الخام.
- ❖ كما أنها فسرت وجود الملح والكلوروفيل والهايمين والفحم والمركبات الكبريتية والنيتروجينية والصمغيات وجميع ظواهر وخصائص البترول الخام.

تكرير البترول:

تعريفه: تكرير البترول هو عملية تحويل البترول الخام إلى مجموعة من النواتج النفطية المفيدة وعادة ما يتم ذلك عن طريق الخطوات الثلاث التالية.

أ) فصل النفط الخام بالتقطير إلى مجموعة قطفات.



ب) تحويل النواتج غير المرغوب فيها إلى نواتج غالية الثمن من خلال عمليات مثل: التكسير، التهذيب والمعاملة بالهيدروجين (hydro treating).

ج) التنقية بمعاملة القطفات الناتجة للتخلص من المواد الضارة مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S......إلخ، ويلخص الجدول أدناه القطفات المنتجة بالتقطير التجزيئي.

قطفات التقطير التجزيئي واستعمالاتها

القطفة	الغليان ° مئوي	التركيب التقريبي	الاستعمال
1) غازات	أكبر من 20° مئوي	$C_1 - C_4$	وقود وكيمياويات
2) نافثا	20- 150° مئوي	$C_5 - C_{10}$	بارافينات ونافثينات وأحياناً عطريات، وهو أساس جازولين السيارات ويصلح كوقود وإنتاج الكيماويات
3) كيروسين	120- 250° مئوي	$C_9 - C_{15}$	وقود نفاثات وتسخين
4) زيت الغاز (ديزل)	200- 400° مئوي	$C_{15} - C_{25}$	وقود ديزل للتسخين والتكسير لانتاج الأوليفينات
5) زيت تزييت (تزليف)	أكبر من 350° مئوي	$C_{17} - C_{20}$	يصلح للتزييت بعد التصفية
6) زيت وقود ثقيل	أكبر من 350° مئوي	-	وقود غلايات يكسر بحفازات إلى قطفات أخف
7) أسفلت		$C_{30} - C_{40}$	للطرق والبنايات والطلاء
8) سخام Coke			وقود واستعمالات صناعية أخرى

التقطير:

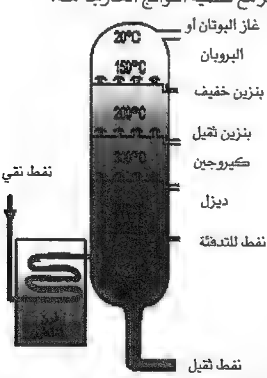
الخطوات:

- يضخ النفط الخام إلى فرن حيث يسخن إلى حوالي 500° مئوية فيتحول أكثر من نصفه إلى الحالة البخارية (الغازية).
- ثم يدخل هذا الخليط من السائل والبخار إلى برج التقطير.
- توجد ف برج التقطير مجموعة من الأطباق المثقبة التي تسمح بمرور الأبخرة خلال البرج فتصعد الغازات إلى أعلى بينما تنزل السوائل إلى أسفل وتتوزع بحسب كثافتها في البرج فتبقى السوائل الأثقل في أسفل البرج.

والثقوب التي في أطباق التقطير مجهزة بأدوات تسمى أكواب الفقاقيع bubble – caps مهمتها جعل البخار الصاعد خلال البرج يمر خلال السائل الذي يرتفع عدة بوصات في الطبق مكوناً فقاقيع.

هذه الفقاقيع هي أحد أسرار التقطير وتساعد على نقل الحرارة من الغازات الصاعدة إلى السوائل مما يزيد في فصل المواد فمن ناحية يؤدي انتقال الحرارة من البخار إلى السائل إلى انخفاض درجة حرارة البخار مما يؤدي إلى تكثيف الأجزاء الثقيلة منه، ومن ناحية أخرى تؤدي الحرارة المنتقلة إلى السائل إلى تبخر الأجزاء الخفيفة منه. وعليه فأكواب الفقاقيع تزيد من كفاءة الفصل في أبراج التقطير.

تصعد الأبخرة إلى الطبق التالي بعد ترك الأجزاء الأثقل وحمل الأجزاء الأخف حيث تتكرر نفس العملية. ومع تزايد السوائل في طبق ما وعندما تصل إلى مستوى معين يأخذها المجرى النازل (down Comer) إلى الطبق الأدنى. وبعد كل عدد من الأطباق تسحب السوائل (القطفات) بحيث تتساوى كمية النفط الخام الداخلة إلى برج التقطير مع كمية النواتج الخارجة منه.



التكسير:

تعريفه: التكسير هو تحويل المركبات الهيدروكربونية الثقيلة غير المتطايرة إلى هيدروكربونات خفيفة أكثر تطايراً وذلك باستعمال الحرارة والحفازات.

والجدير بالذكر أن جازولين السيارات هو أكثر النواتج البترولية طلباً وذلك كنتيجة طبيعية لنمو صناعة السيارات. وقد تطورت عمليات التكسير لإنتاج كميات كبيرة من الجازولين المرغوب فيه والغالي الثمن من ذات النواتج الثقيلة كالزيوت والبواقي غير المرغوب فيها والرخيصة الثمن.

الجازولين المنتج من التقطير مباشرة والجازولين المنتج من التكسير الحراري والحفزي.

ينتج الجازولين من تقطير البترول حوالي 16٪ جازولين، وينتج حوالي 50٪ من الجازولين حالياً بعمليات التكسير الحراري والحفزي.

ويتمتع الجازولين المنتج بهذه الطرق بصفات ممتازة من حيث الاستعمال والرقم الأوكتاني مقارنة بالجازولين المنتج بالتقطير مباشرة (Straight – run gasoline).

وعندما تتعرض المركبات الكبيرة للتكسير تعطي مركبات صغيرة كالآتي:

$$\underbrace{C_{15}H_{32}}_{\text{درجة الغليان } 150^{\circ}\text{م}} \longrightarrow \begin{array}{l} C_8H_{18} + C_7H_{14} \\ C_9H_{20} + C_6H_{12} \\ C_{10}H_{22} + C_5H_{10} \end{array}$$

التغيرات الملاحظة على المركبات الهيدروكربونية أثناء عملية التكسير:-

بناءً على تركيب المركبات الهيدروكربونية الموجودة ودرجة الحرارة والضغط المستعمل ووجود أو غياب حفاز نلاحظ التغيرات التالية أثناء التكسير:-

أ) تكون خليط من عدد ضخم من الهيدروكربونات عادة ما تكون أكثر تطايراً من الألكان المستعمل.

ب) تتحول سلاسل الهيدروكربونات المستقيمة إلى سلاسل متفرعة (وتسمى هذه العملية الأزمرة).

جـ) تنتج هيدروكربونات غير مشبعة من المركبات المشبعة.

د) تنتج أحياناً مركبات حلقية أليفاتية من الألكانات.

التكسير الحراري (Thermal Carcking):

وفيه تستخدم الحرارة والضغط. واستعملت هذه العملية حديثاً في تحويل المركبات المشبعة (التي لها روابط أحادية فقط) مثل الايثان (CH_4) والبروبان ($CH_3CH_2CH_3$) والنافثا (C_3H_8) إلى مركبات غير مشبعة (بها روابط ثنائية أو ثلاثية أو معاً).

مثل الايثلين ($CH_2 = CH_2$) والبروبيلين ($CH_3\ CH = CH_2$)....الخ.

وأحياناً يستعمل الديزل وربما النفط الخام لنفس المهمة.

تأثير درجة الحرارة على نواتج التكسير الحراري:

يبدأ التكسير الحراري عند 400°م وكلما زادت درجة الحرارة قل الوزن الجزيئي للمركبات الناتجة.

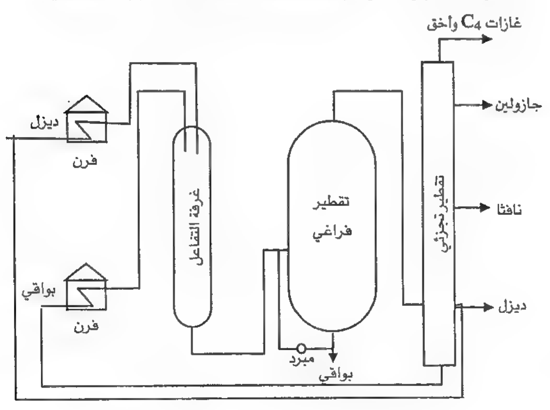
- عند استعمال درجة حرارة أقل من 800°م وزمن تفاعل مقداره ثانية واحدة تنتج نسبة أقل من الايثلين ($CH_2 = CH_2$) والبروبيلين ($CH_3\ CH = CH_2$).
- أما عند درجة حرارة 800 – 900°م وزمن تفاعل مقداره نصف ثانية فينتج نسبة أكبر من الايثلين والبروبيلين.

وهذه الطريقة تفضل في عالم اليوم للحاجة إلى هذه النواتج في صناعة اللدائن الصناعية مثل متعدد الايثلين ومتعدد البروبيلين. ويمكن الحصول على النسب المثالية التالية من تكسير ديزل ثقيل (الجدول التالي).

النسب المثالية الناتجة من تكسير ديزل ثقيل.

CH_4, H_2	%16
ايثيلين C_2H_4	%35
بروبيلين C_3H_6	%15
C_4	%8
أكبر من أو يساوي $C_5 \geq$	%25

❖ درجات حرارة أعلى من (1000C°) أعطت نسبة أكبر من الايثيلين.



❖ تستعمل البواقي كلقيم في مصافي النفط. وربما استعمل أحياناً ديزل حفزي ثقيل، وبقايا التكسير الحفزي، حيث تسخن في فرن حرارته حوالي 620°م لمدة قصيرة لمنع التفاعل من الحدوث في الأنابيب الخارجة من الفرن مما يؤدي إلى التفحم وسد الأنابيب وبالتالي إنهاء التفاعل.

❖ ثم يضخ اللقيم الساخن إلى غرفة التفاعل. التي ضبط فيها ليسمح بالتكسير ولكن لا يسمح بالتفحم (حوالي 140 رطل على البوصة المربعة).

❖ ويخلط الناتج الخارج من غرفة التفاعل مع مجرى راجع أبرد نسبياً. لإيقاف التكسير.

❖ ثم تفصل النواتج في غرفة تفريغ فتذهب النواتج الخفيفة إلى أعلى للفصل النهائي في برج التقطير التجزيئي. وتقسم البواقي إلى قسمين أحداهما مجرى راجع لتبريد نواتج غرفة تفاعل التكسير والقسم الآخر يخلط عادة مع وقود البواقي.

التكسير الحفزي (Catalytic Cracking):

يستعمل في التكسير الحفزي الحفازات بالإضافة إلى الحرارة والضغط، ويتميز بأن الجازولين الناتج عنه يكون عالي الجودة ويمكن إنتاجه من كل أنواع النفط الخام تقريباً في أجهزة قابلة للسيطرة التامة تعمل في درجات حرارة منخفضة وضغط منخفض مما يعني تكلفة منخفضة أيضاً.

ومن مميزات الجازولين الحفزي المرغوبة:

❖ استجابته الممتازة لرابع ايثيل الرصاص $Pb(C_2H_5)_4$.

❖ انخفاض مكونات الصمغيات.

❖ قلة المركبات الكبريتية الآكلة.

❖ إضافة إلى درجة أوكتان متجانسة خلال مدى غليان الجازولين.

وبصورة عامة يمتاز التكسير الحفزي عن التكسير الحراري بالآتي:

1. تكسير أكثر انتقائية مع كمية أقل من النواتج النهائية الخفيفة.
2. الأزمرة الأوليفينية أكثر للروابط الأوليفينية والهيكل الكربوني.
3. سيطرة أكثر على تشبيع الروابط الثنائية (المزدوجة).
4. إنتاج كمية أكبر من العطريات.
5. إنتاج كمية أقل من المركبات ثنائية الأوليفين.
6. إنتاج فحم (سخام) أحسن اقتصادياً قابلاً للبيع.
7. مقدرة أكبر على احتمال نفط خام بنسب عالية من الكبريت.

ويستعمل الغاز الناعم وهو عادة خليط من الألومنيا والسيليكا عند 450 – 550°م وتحت ضغط خفيف.

التكسير البخاري (Steam Cracking):

يتم التكسير البخاري عند معالجة المركبات الهيدروكربونية الطويلة ببخار الماء وتسخينها لجزء من الثانية عند 700 – 900°م ثم تبريدها بسرعة.

التكسير الهيدروجيني (Hydro Cracking):

يعتبر التكسير الهيدروجيني مصدراً آخر من مصادر الهيدروكربونات الصغيرة ويتم التكسير في وجود الهيدروجين تحت ضغط عال وحرارة تتراوح بين 250°م و 450°م.

تقييم البترول (Crude Oil Evaluation):

عند استخراج النفط من باطن الأرض يتعين تحديد مدى جودته ليمكن تقدير سعره كخام ومعرفة ما يمكن الحصول عليه من منتجات كماً وكيفاً عند تصنيعه.

ويتم ذلك بإجراء بعض الفحوص على البترول الخام في المختبر مثل تعيين:

- ❖ الكثافة النوعية.
- ❖ اللزوجة.
- ❖ مدى ما يحتويه البترول من مواد خفيفة.

وذلك طبقاً للخواص الفيزيائية بمعهد البترول الأمريكي International Standard Methods.

كثافة البترول الخام (Crude Oil Gravity):

يتم تعيين الكثافة النوعية (Specific Gravity) للبترول الخام بواسطة الهيدرومتر (Hydrometer) عند ($60F^o = 15.6C^o$) منسوبة إلى كثافة الماء عند ($60F^o = 15.6C^o$) أيضاً.

وعادة يعبر عن الكثافة النوعية للنفط بدرجة (A P I Gravity) وهي التي استحدثها معهد البترول الأمريكي (American Petroleum Institute) وتتناسب هذه الدرجة عكسياً مع الكثافة النوعية (Specific Gravity, G) كما تحددها العلاقة الآتية:

$$°API = \frac{141.5}{G} - 131.5$$

ومعظم أنواع النفط تتراوح كثافتها النوعية بين (20 – 45 °A P I) وأقل من ذلك يكون النفط ثقيلاً وأخف من ذلك يكون جيداً.

أهمية مقياس (°API) في تحديد سعر البترول:

هذا المقياس هو الذي يحدد سعر النفط الخام فإذا كانت الكثافة النوعية بمقياس (°API) عالية كان سعره مرتفعاً والعكس صحيح أخذاً في الاعتبار نسبة الكبريت تؤثر أيضاً على سعر الخام.

اللزوجة (Viscosity):

تعتبر اللزوجة مقياساً لمدى مقاومة الزيت للسريان وكذلك مدى قدرته على تزيين السطوح ويعبر عن اللزوجة لوحدات مختلفة كما يلي:

1) اللزوجة المطلقة (Absolute viscosity ,μ) يعبر عنها بوحدات البواز (Poise) أو السنتيبواز (Centipoise = 0.01 poise) وهي وحدة فرنسية (C. g. s).

2) اللزوجة المركبة (الكيناميتية) (kinematic Viscosity y) وتقاس بالأستوك (Stoke) أو السنتيستوك (Centistoke = 0,01 stoke).

غير أن أجهزة قياس اللزوجة – في مجال البترول عموماً – لا تقدر اللزوجة بالوحدات السابقة فجهاز اللزوجة المعروف بـ (Saybolt universal viscometer) يقيس اللزوجة بالزمن بالثواني اللازم لتدفق عينة من الزيت مقدارها (60ml) موضوعة في أنبوبة عند درجة حرارة معينة من خلال ثقب (orifice) في قاع هذه الأنبوبة.

وتسجل اللزوجة بوحدات تسمى (Saybolt Universal Seconds'su) وعادة تكو عند درجات حرارة ($100, 130, 210F^{o}$) اي ($37.8 , 54.5 , 98.9C^{o}$) حيث أن:

$$\left(C^{o} = \frac{F^{o} - 32}{1.8}\right)$$

ويمكن تحويل اللزوجة من وحدات الـ (Su) إلى الوحدات الأخرى باستخدام العلاقات التالية:

$$\text{معامل اللزوجة} = \frac{0.219(Su)^{2} - 149.7}{(Su)}$$

نقطة الأنيلين (Aniline Point):

تعريفها: نقطة الأنيلين هي مقياس لذوبان الأنيلين في زيت الديزل ويوضح نسبة الالكانات Alkanes (البرافينات) في العينة.

القيمة الحرارية:

لكل نوع من الوقود تنطلق كمية محدودة من الحرارة يمكن قياسها باستخدام (Calorimeter Bomb) المسعر الحراري.

مدى التقطير:

ويعتبر مدى التقطير هام جداً لاستخلاص الوقود المناسب فمثلاً:

- الجازولين يستخدم في وقود محركات الاحتراق الداخلي ومن ثم يتم تقطيره في مدى يتراوح ما بين 200C° – 40.
- أما وقود الديزل فيستخدم في محركات الديزل التي تعمل عن طريق الإشعال المتضاغط (Compression Ignition) ومن ثم فإن مدى تقطيره يتراوح ما بين 360C° – 180 ويمكن معرفة ذلك بتعيين درجة الغليان الأولية والنهائية لكل وقود.

نسبة الكبريت (Sulfur Content):

يتم تعيين نسبة الكبريت في النفط الخام بالوزن وتتراوح عادة بين (0.1 – 5%) وزناً.

- فإذا كانت هذه النسبة أقل من (0.5٪) فيقال: إن هذا النفط جيد (Sweet).
- وإذا كانت النسبة أعلى من (0.5٪) قيل أنه نفط مر (Sour) ويحتاج مثل هذا النفط إلى معالجة للتخلص من الكبريت فيه. ولذلك يكون سعره أقل.

أساس النفط الخام (Crude oil Base):

عادة يقسم النفط الخام إلى عدة أنواع حسب مجموعة المركبات الغالبة فيه:

- فإذا كانت هذه المجموعة هي البرافينات سمي النفط نفطاً برافينياً أو برافيني الأساس (Paraffinic Base Crude).

❖ وهناك نفط ثافثيني (Naph thenic Base Crude).

❖ ونفط أروماتي (عطري) (Aromatic Base Crude).

❖ وأما النفط الذي لا يظهر فيه مجموعة غالبة فيقال عنه أنه متوسط (Intermediate).

وأساس النفط يحدد نوعية المنتجات البترولية التي يمكن الحصول عليها منه:

❖ فالنفط الأروماتي مثلاً يمكن الحصول منه على جازولين سيارات جيد ولكن الكيروسين الناتج عنه يكون سيئاً لأنه يشتعل مصاحباً بدخان كثيف.

❖ والعكس إذا كان النفط برافينياً.

وليس من السهل عادة إجراء فحوص دقيقة لتعيين نسبة وجود كل مجموعة بدقة لذلك يتم إجراء بعض الاختبارات التي يمكن اتخاذها كدليل على أساس أو نوعية النفط مثل:

❖ نقطة الانسكاب (Pour Point) – دليل العلاقة – معامل التمييز Characterization Factor، دليل اللزوجة (Viscosity Indicator).

نقطة الانسكاب (Pour Point):

تعتبر نقطة الانسكاب التي تقاس بـ(F^o) دليلاً على تركيز المواد البرافينية أو الآروماتية في النفط الخام:

❖ فكلما كانت هذه الدرجة منخفضة دل ذلك على أن المواد الآروماتية موجودة في النفط بنسبة عالية.

❖ وإذا كانت نقطة الانسكاب عالية كانت نسبة البرافينات عالية.

طريقة تعيين نقطة الانسكاب:

❖ تسخين عينة النفط إلى ($115\ F^o = 46.1\ C^o$) لإذابة ما يكون به من شمع (wax) ثم تبرد العينة إلى ($90F^o - 32.2C^o$).

❖ ثم توضع العينة في أنبوبة في حمام تبريد حتى تصل إلى درجة التجمد أو للتأكد من ذلك ترفع الأنبوبة من الحمام من فترة إلى أخرى ويتم إمالتها ليرى إذا كان الزيت لا يزال يسري أو يتحرك فإذا تبين عدم حركة الزيت في الأنبوبة لمدة خمس ثوان إذا وصفت الأنبوبة أفقياً دل ذلك على وصول الزيت إلى نقطة التجمد.

❖ وتؤخذ نقطة الانسكاب على أنها الدرجة التي هي أعلى من درجة التجمد بـ($5F^o$).

معامل التمييز Characterization Factor, K:

ويعرف معامل التمييز بالعلاقة التالية:

$$K = \frac{(T_B)^{\frac{1}{3}}}{G}$$

حيث:

T_B: متوسط درجة غليان النفط الخام (R^o).

وكلما ارتفع هذا المعامل كان النفط برافيني الأساس.

نسبة الأملاح Salt Content:

تقاس نسبة الأملاح في النفط الخام – ويعبر عنها بكمية كلوريد الصوديوم (Nacl) فإذا زادت عن (0.001 Lb/bbl) (رطل لكل برميل (Lb/bbL) فإن ذلك يؤثر على سعر النفط الخام.

يتعين إزالة الأملاح من النفط الخام قبل تصنيعه لأن وجودها يتسبب في:

❖ تأكل المعدات.

❖ كذلك في تكوين ترسبات تتراكم في المواسير مما يؤدي إلى هبوط الضغط (Pressure drop) ينتج عنه تعطل المضخات وتكسرها.

الكربون المتبقي (Carbon Residue):

يتم تعيين الكربون المتبقي بعد تقطير عينة من الضغط الخام تقطيراً كاملاً في غياب الهواء وهذه الكمية من الكربون تعبر عنها:

❖ مدى ما يحتويه النفط الخام من أسفلت.

❖ مدى ما يمكن استخلاصه من زيوت التزييت منه (Lubricating Oils) وعموماً فإن قيمة النفط تكون مرتفعة كلما كانت كمية الكربون المتبقي قليلة.

طريقة تعيين الكربون المتبقي:

يعين الكربون المتبقي حسب اختبار كونرادسون وهو اختبار يتم فيه:

تعيين وزن الكربون المتبقي بعد تبخير وتحلل حراري (Pyrolysis) لعينة من الزيت في ظروف معينة. ويسمى الكربون المعين بهذه الطريقة كربون كونرادسون (Conradson Carbon).

أهمية نقطة الوميض ونقطة الحرق:

نقطة الوميض (Flash Point) ونقطة الحرق (Fire Point) اختباران يعطي كل منهما دلالة خاصة على مدى الأمان المتوقع عند التعامل مع المواد البترولية – الخفيفة على وجه الخصوص أثناء نقلها أو تخزينها.

وتعرف نقطة الوميض بأنها:

درجة الحرارة التي يبدأ عندها بخار عينة من الوقود في الاشتعال أو الانفجار عند تقريب شعلة (Flame) منه، وهو اختبار له صلة بقدرة الوقود على سرعة بدء محرك السيارة.

طريقة تعيين درجة الوميض:

يتم الاختبار من أجل تعيين درجة الوميض، في أجهزة خاصة عبارة عن كوب إما مفتوح (Open Cup) أو مغلق (Closed Cup) ذو سعة محددة يوضع فيه الوقود، ويسخن بمعدل ثابت، ويقرب منه شعلة من حين إلى آخر، وعند اشتعاله (أو انفجاره) تسجل درجة الحرارة التي يحدث عندها الاشتعال فتكون هي درجة الوميض.

وأما نقطة الحرق فيتم تعيينها في نفس الأجهزة.

وتعرف نقطة الحرق بأنها: الدرجة التي يتصاعد عندها بخار الوقود بسرعة كافية لاحتراقه باستمرار بدون خمود الشعلة.

رقم الأكتان (Octane Number):

تنتج مصافي النفط نوعين رئيسيين من جازولين السيارات:

- عادي (Regular).
- وممتاز (Premium).

والفرق الرئيسي بينهما يكمن في خاصية شدة الخبط (Knock intensity) وقد جرى العرف على أن يعبر عن وحدة شدة عدم الخبط برقم الأكتان.

وتبين أنه:

- عند استخدام الهبتان العادي ($n\text{–}C_7, CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$) كوقود سيارة فإنه يحدث درجة عالية من الخبط.
- وإذا استخدم الآيزو أكتان (i – C8) وحدة كوقود للسيارة فإنه يعطي درجة منخفضة جداً من الخبط ويكون المحرك سلساً ناعماً.

عند ذلك أعطى للأيزو أكتان رقم مائة وللهبتان العادي رقم صفر على أن الأول يعتبر أفضل أنواع الوقود والثاني أسوأها في ذلك الوقت عام (1930).

وعلى ذلك اعتبر المخلوط المكون من الأيزو أكتان والهبتان العادي هو المعيار لأداء وقود السيارات.

طريقة تعيين رقم الأوكتان:

يختبر وقود السيارة – وهو الجازولين ($C_5 - C_8$) في ماكينة ذات مواصفات خاصة ويعين مدى شدة الخبط التي يحدثها هذا الوقود. وتقارن هذه الشدة بشدة الخبط التي يحدثها خليط معروف من الأيزو أكتان والهبتان في ماكينة مماثلة.

فإذا كانت شدة خبط الجازولين تعادل شدة خبط الخليط – وكان الخليط مثلاً يتكون من [$70\ (i - C_8) + 30\ (n - C_7)$] فيقال إن الجازولين ذو رقم أكتان (70) وعلى ذلك يعرف رقم الأكتان:

بالنسبة المئوية – بالحجم – للأيزو أكتان الذي يجب أن يخلط مع الهبتان العادي لكي يعطي شدة خبط مساوية تقريباً لما يحدثه جازولين سيارات تحت الاختبار.

ولتعيين رقم الاكتان لجازولين معين تستخدم طريقتان هما:

- طريقة الأبحاث.
- طريقة المحرك.

جازولين السيارات (Motor Gasoline):

يتم إنتاج جازولين السيارات بخلط مختلف أنواع الجازولين المنتجة في وحدات المصفاة المختلفة ويتم ذلك في حوض الجازولين (Gasoline Pool) ويضاف إليها بعض المواد الأخرى لتحسين خواص الوقود.

وتشمل أنواع الجازولين الناتجة من الوحدات المختلفة.

أ) جازولين وحدة التقطير الجوي (Light Straight – Run Gasoline, LSR).

ب) جازولين البلمرة (Polymer Gasoline).

جـ) جازولين وحدات التكسير (Crached Gasoline).

د) الجازولين المهذب (Reformate Gasoline).

هـ) جازولين الألكلة (Alkylate Gasoline).

ويختلف رقم الاكتان لهذه الأنواع وأعلاها هو جازولين الألكلة والجازولي المهذب.

النافثا (Naphtha):

تنتج النافثا من وحدة تقطير النفط الخام وتتراوح درجة غليانها بين (160 – 280 F°) وتحتوي على نسبة من المواد الكبريتية على هيئة ميركابتانس (RSH) ولذلك يتم معالجتها بالتنقية الهيدروجينية (Hydrofining) قبل توجيهها إلى وحدات التهذيب الحفازي (Catalytic Reforming) لإنتاج الجازولين المهذب منها.

استخدامات النافثا:

- كمذيب عضوي.
- وفي صناعة البويات والصبغات.
- وتعتبر النافثا مصدراً للبتروكيماويات الأروماتية حيث أنها تحتوي على نسبة عالية من البنزين والتولوين والزايلين (BTX).

الكيروسين (Kerosen):

الكيروسين هو المنتج البترولي من وحدة التقطير الجوي الذي يغلي بين (280 – 480 F°) ويجب معالجته من الكبريت في وحدات تنقية هيدوجينية أيضاً.

ووجود المواد الأروماتية في الكيروسين غير مرغوب فيه – على عكس الجازولين – فإنها تسبب اشتعال الكيروسين بدخان.

ويقاس الميل لتكوين دخان عند اشتعال الوقود بنقطة الدخان (Smoke Point).

طريقة تعيين نقطة الدخان:

وتعين نقطة الدخان بارتفاع شعلة الوقود بالملمترات في لمبة عيارية (Standard Lamp) بحيث لا يتكون دخان.

وتعتبر نقطة الدخان مرضية إذا كانت أعلى أو تساوي سبعة عشر ملليمتراً (17mm).

- وجود المواد الأروماتية في الكيروسين بنسبة أعلى من عشرين في المائة (20٪) يقلل من ارتفاع الشعلة أي يخفض من نقطة الدخان حيث تتكون سحابة بيضاء من الدخان على ارتفاع صغير ويجعل الشعلة صغيرة أقل من (17mm).
- كذلك المواد الكبريتية أيضاً تخفض من نقطة الدخان.

وجدير بالذكر أن:

- البرافينات لها أعلى نقطة دخان لذلك يفضل دائماً أن يحتوي الكيروسين على نسبة عالية من البرافينات متى أمكن ذلك.
- أما المواد الأروماتية فجب استخلاصها منه وفصلها.

ويستخدم الكيروسين في:

- الإضاءة – التدفئة.
- يضاف أحياناً إلى زيت الوقود (Fuel Oil) لتخفيفه وجعله سهل الضخ في مواقد الأفران.
- أهم استخدام للكيروسين – في هذه الأيام – هو في إنتاج وقود للطائرات.

وقود الطائرات (Jel Fuel):

يسمى أحياناً وقود الطائرات (Aviation Gasoline) وأحياناً يسمى (Aviation Turbine Kerosine Fuel ATK).

ويتكون وقود الطائرات أساساً من الكيروسين ويمكن أن يضاف إليه بعض الجازولين أو النافثا ويوجد بعض أنواع وقود الطائرات التي تتكون أصلاً من النافثا.

وأيا ما تكون مكونات هذا الوقود فإنها يجب أن تقع في مدى الغليان بين (350 – 550F°) ومن أهم مواصفات هذا الوقود:-

- أن يكون ذا نقطة دخان مرتفعة.
- أن يكون احتراقه نظيفاً.
- أن يكون درجة تجمده بين (F° 40-) و(58F°-).

وقود الديزل (Diesel Fuels):

توجد أنواع مختلفة من وقود الديزل يتراوح مدى غليانها بين (F° 650 – 350).

وقد تنتج هذه الأنواع من خلط كميات مختلفة من زيوت الغاز (Gas Oils) الناتجة من وحدات التقطير الجوي والفراغي.

وهناك أنواع أخرى من الديزل تنتج من خلط كميات من النافثا والكيروسين والزيوت الدوارة الخفيفة الناتجة من عمليات التكسير (Light Cracked Cycle Oils).

ويراعى عند إنتاج أنواع الديزل المختلفة أن تتمتع بخواص محددة مثل:

أ) خاصية الاشتعال (Ignition Property):

ويعبر عن هذه الخاصية – بالنسبة للديزل على وجه الخصوص بما يسمى رقم السيتان (Cetane number).

ويعبر عن هذا الرقم بالنسبة المئوية – بالحجم – لمركب السيتان (Cetane $C_{16}H_{34}$) (له خاصية احتراق عالية) في خليط منه مع مركب ألفا ميثيل نفثالين (Alpha – Methyl – Naphthaline) (ذو خاصية احتراق منخفضة).

ويتم مقارنة وقود الديزل بخليط من هذين المركبين في ماكينات عيارية حسب مواصفات (ASTM) ويجب أن لا يقل رقم السيتان لأنواع الديزل المختلفة عن (90- 36) في درجات حرارة تتراوح بين (60Fo)، (-20 F°).

وكلما ارتفع رقم السيتان كان الوقود ذا أداء جيد عند الاحتراق أي أنه يمكنه:

- ❖ بدء الاشتعال عند درجة حرارة منخفضة.
- ❖ لا يسبب ضغوطاً عالية في المحرك.
- ❖ لا تتكون ترسبات فيه.

ب) اللزوجة Viscosity:

تعتبر اللزوجة من المواصفات الهامة لزيوت الديزل حيث أن:

اللزوجة العالية تؤدي إلى:

- ❖ تكون ترسبات في المحرك.
- ❖ دخان ورائحة

واللزوجة المنخفضة جداً تؤدي إلى:

- ❖ تسرب الزيت.
- ❖ فقر في عملية التزييت.
- ❖ انخفاض في القيمة الحرارية للوقود.

جـ) نقطة السحاب (Cloud Point):

تعريف نقطة السحاب:

نقطة السحاب هي درجة الحرارة التي عندها يظهر ضباب واضح (Cloudiness or Horaziness Distinct) عند تبريد عينة من الوقود في أنبوبة عيارية موضوعة في حمام تبريد (Cooling Bath).

وعادة يحدث ارتفاع كبير في لزوجة الوقود عند هذه الدرجة.

وتدل نقطة السحاب على ميل الوقود لترسيب مواد ثقيلة في مرشح الوقود فتؤدي إلى انسداده (Filter Blocking).

ونقطة السحاب للبرافينات أعلى من النافثينات ثم يليها المواد الأروماتية.

وجدير بالذكر أنه يمكن أيضاً تعيين نقطة الإنسكاب (Pour Point) للديزل فهي تعبر عن قدرة الوقود على السريان عند درجات الحرارة المنخفضة.

د) دليل الديزل (Diesel Index):

يعرف دليل الديزل حسب العلاقة التالية:

$$\text{Diesel Index} = \frac{\text{API. AnilinePoint}(F^{\circ})}{100}$$

وتعرف نقطة الأنيلين (Aniline Point):

بأنها أقل درجة حرارة يحدث عندها اختلاط كامل بين عينة من الديزل (أو الوقود) مع كمية مساوية لها من الأنيلين ($C_6H_5NH_2$). وترتفع هذه الدرجة بزيادة نسبة البرافينات في الوقود.

أما المواد الأروماتية فدليل الديزل لها منخفض. والنافثينات ذات دليل متوسط. ويتراوح دليل الديزل للأنواع المختلفة من وقود الديزل بين (72- 26) وهذا يعادل أرقام السيتان – عند نفس الظروف – التي تتراوح (60 – 30).

هـ) المواد الكبريتية (Sulphur Compounds):

لا يجب أن تزيد هذه المواد في زيوت الديزل عن نصف في المئة (0.5٪) وعادة يعالج الديزل في وحدات تنقية هيدروجينية.

زيوت الوقود (Fuel Oils):

تنتج زيوت الوقود من قاع برج التقطير الجوي ومدى غليانه يزيد عن (600F°) ويسمى أحياناً (Reduced Crude) أو (Atmospheric Residue) ويستخدم كوقود للأفران حيث أن القيمة الحرارية له مرتفعة.

(Heating valve = 6.45 MMB tv/bb1) حيث:- وحدة حرارة بريطانية (MM: Million, Btu: British Thermal unit) غير أن كميات هذه الزيوت الناتجة من برج التقطير الجوي تعادل أكثر من نصف النفط الخام المعالج. لذلك يوجه إلى وحدة تقطير فراغي لإنتاج زيوت الغاز منه وكذلك خامات زيوت التزييت، ويتبقى أنواع أخرى عند زيوت الوقود الثقيلة تسمى (Residve vacume) تعادل نسبتها حوالي ثلث النقط الخام المعالج ومدى غليانها أعلى من ($1050F^{o}$) وتحتوي على نسبة عالية من الكبريت والأسفلتين (Asphaltens) وهي ذات لزوجة مرتفعة.

وجدير بالذكر أن معالجة هذه الزيوت من المواد الكبريتية تعتبر عملية معقدة وباهظة التكاليف ولذلك فإنها:

- ❖ تخلط أحياناً بأنواع أخرى خفيفة من زيوت الوقود كثافتها أقل ونسبة الكبريت فيها صغيرة نسبياً حتى يمكن تسويق هذه الزيوت.
- ❖ وأحياناً تخلط هذه الزيوت بالنفط الخام.
- ❖ أو تضخ ثانية إلى آبار نفط مهجورة إذا لم يوجد لها سوق.

ويستخدم زيت الوقود الفراغي عادة في صناعة الاسفلت والغاز، وتعتبر نسبة الأسفلتين والشمع ودرجة اللزوجة من أهم المؤشرات التي تحدد مدى ملائمة زيوت الوقود لإنتاج الأسفلت حيث يجب أن تكون قيم هذه المؤشرات مرتفعة.

زيوت التزييت (Lubricating Oils):

تستخدم نواتج التقطير الفراغي الثقيلة مثل زيت الغاز الفراغي الثقيل (HVGO) والمقطرات الشمعية (wax Distillate) وغيرها والتي يزيد مدى غليانها عن ($1020\ F^{o}$) في صناعة زيوت التزييت.

ويفضل المواد التي تحتوي على نسب عالية من البرافينات لإنتاج زيوت سيارات عالية الجودة وذات دليل لزوجة مرتفع.

وعادة يتم فصل المواد الأروماتية والشمع من الخامات المراد تصنيع زيوت التزييت منها لأن هذه المواد تخفض من دليل اللزوجة.

مصادر الطاقة البديلة

مصادر للطاقة البديلة:

سنتطرق هنا إلى مصدرين آخرين للطاقة هما التمثيل الضوئي في النباتات وما ينتج عنه من مواد يمكن استخدامها كمصادر للطاقة والهيدروجين باعتباره وقود المستقبل، ان لهذين المصدرين علاقة وثيقة بالشمس، فالتمثيل الضوئي في النباتات يقوم على امتصاص أشعة الشمس وتحويلها إلى روابط كيماوية تربط عناصر الكربون والاكسجين والهيدروجين معاً وتحولها إلى مواد كربوهيدراتية وتتشكل المواد الكربوهيدراتية بأشكال مختلفة وتستخدم كأغذية تعيش عليها الكائنات الحية من حيوان وإنسان، كما أن المواد الهيدروكربونية التي هي النفط والغاز وكذلك المواد الكربونية التي هي الفحم نجمت عن تحول المواد الكربوهيدراتية في أزمان سحيقة وتحت ظروف خاصة فقدت الأولى الأكسجين وفقدت الثانية الأكسجين والهيدروجين.

وسيتضح فيما يلي أن بالإمكان استخدام أي مصدر من مصادر الطاقة لإنتاج الهيدروجين بما في ذلك الطاقة الشمسية، غير أن هناك بعض الطحالب المائية التي ينتج عن عملية التمثيل الضوئي فيها الهيدروجين مباشرة.

التمثيل الضوئي:

يمكن القول أنه لولا التمثيل الضوئي لما وجدت الحياة على الأرض بشكلها الحالي، إذ يؤدي التمثيل الضوئي وظيفتين أساسيتين هما: الحفاظ على التوازن في تركيب الغلاف الغازي المحيط بالأرض وبخاصة ذلك التوازن بين الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون، وإنتاج الطعام للكائنات الحية، صغيرها وكبيرها وسواء أكانت على سطح الأرض أم في البحار.

يشـكل ضـوء الشـمس مصـدر الطاقـة في عمليـة التمثيـل الضـوئي، فتقـوم أوراق النباتـات بامتصـاص أشـعة الشـمس وثـاني أوكسـيد الكربـون مـن الجـو، وتسـتخدم طاقـة الضـوء الممتصـة في تحليـل قسـم مـن المـاء الموجـود في الأوراق إلى مكوناتـه الأصـلية، أي إلى الأكسـجين والهيـدروجين، بعـد ذلـك يـتم تفاعـل الهيـدروجين مـع ثـاني اوكسـيد الكربـون لإنتـاج الكربوهيـدرات بينمـا ينطلـق الأكسجين إلى الجو أن عملية التمثيل الضوئي معقدة جداً والمرجح أنها ليست مفهومة بشكل كامل إلى الآن.

لكـن مـن أجل تبسيط العملية، توضع معادلة التمثيل الضوئي بالشـكل التالي:

ثاني أوكسيد الكربون + ماء + طاقة ضوئية ← كربوهيدرات + أوكسجين.

تستفيد النباتات من جزء قليل من طاقة أشعة الشمس في عملية التمثيل الضوئي، ونتيجة لهذا الواقع فإن كفاءة النباتات في تحويل طاقة الشمس إلى طاقة مفيدة منخفضة جداً فهي لا تتعدى 1٪ في أفضل الأحوال، أما في التجارب المختبرية فإن هذه الكفاءة ترتفع لتصل إلى حوالي 6٪.

وتقـوم النباتـات بتحويـل 10^{21} جـول مـن الطاقـة الشمسـية السـاقطة علـى الأرض، وهـو مـا يعـادل حـوالي واحـد بـالألف مـن الاشـعاع الشمسـي السـاقط علـى الأرض إلا أن هـذه النسـبة الضـئيلة جـداً تعـادل عشـرة أضـعاف مـا اسـتهلكه العـالم من الطاقة في عام 1974.

وبإمكاننـا الاسـتنتاج بـأن كميـة الطاقـة الشمسـية السـاقطة علـى الأرض تعادل على الأقل عشرة آلاف مرة من مقدار استهلاك العالم من الطاقة.

تـؤدي عمليـة التمثيـل الضـوئي إلى إنتـاج الطعـام لكـل الأحيـاء علـى الأرض بشكل مباشر أو غير مباشر فهناك أحياء تتغذى على النباتات فقط وهناك أحياء أخـرى تتغـذى علـى الحيوانـات. كمـا أن هنـاك مخلوقـات كالإنسـان تتغـذى علـى النباتـات والحيوانـات. غـير أن الحيوانـات الـتي يتغـذى عليهـا الإنسـان والحيوانـات

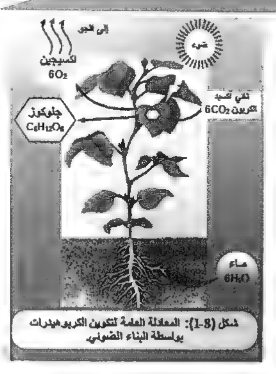
المفترسة تتغذى على النباتات مما يعني أن النباتات هي المصدر الأساسي لغذاء الأحياء.

إن إنتاج الطاقة هو موضع اهتمامنا وليس إنتاج الغذاء رغم أن الغذاء طاقة للأحياء، لكننا سنقصر اهتمامنا على موضوع الطاقة الناتجة عن عملية التمثيل الضوئي.

الشكل التالي يبين مخططاً هيكلياً عن إنتاج الطاقة بواسطة التمثيل الضوئي. فالشمس – كما ذكرنا – هي مصدر الطاقة في عملية التمثيل الضوئي. والنباتات الخضراء تقوم بعملية التمثيل الضوئي. ويستخدم جزء من النباتات في عملية الاستهلاك المباشر بواسطة الإنسان أو الحيوانات بينما يستخدم جزء آخر في عمليات صناعية. غير أن هناك قسماً من النباتات يحتوي على نسبة عالية من المواد الكربوهيدراتية مثل قصب السكر والبطاطا الحلوة والمنيهوت (Cassava) وهو نبات يستخرج من جذوره النشاء.

والمواد الكربوهيدراتية في هذه النباتات هي موضع اهتمامنا لأنه بالإمكان تحويلها بواسطة عمليات كيماوية إلى كحول يمكن استعماله كمصدر للطاقة لإنتاج الكهرباء أو في وسائط النقل.

وأما بالنسبة لتلك النباتات التي يستهلكها الإنسان والحيوان فإن دورها لا ينتهي عند حد الاستهلاك إذ يتحول جزء من النباتات المستهلكة إلى بروتينات ودهون وتبقى فضلات بعد عملية الهضم تحوي مواد عضوية يمكن الاستفادة منها في إنتاج الميثان الذي يصلح كوقود كغيره من أنواع الوقود المعروفة.



شكل (8-1): المعادلة العامة لتكوين الكربوهيدرات بواسطة البناء الضوئي.

إضافة إلى ما تقدم هناك النفايات والقمامة التي يطرحها الإنسان والتي تحتوي على مزيج من المواد العضوية وغير العضوية.

إن النفايات يمكن أن تستخدم كمصدر للطاقة أيضاً سواء كان ذلك بواسطة الحرق مباشرة أو بإحدى عمليات تحليل المواد العضوية وإنتاج الميثان.

1) محاصيل الطاقة :

المقصود بمحاصيل الطاقة هي تلك النباتات التي يمكن تحويل منتجاتها إلى وقود يستخدم كمصدر للطاقة. ومن بين النباتات المهمة في هذا المجال هناك قصب السكر والمنيهوت والذرة السكرية والبطاطا الحلوة والنباتات التي تنتج منها الزيوت، وهذا لا يعني أن النباتات الأخرى لا تصلح كمحاصيل للطاقة. غير أن إمكان الاستفادة منها أقل من التي ذكرناها.

وحين نتكلم عن محاصيل الطاقة فإننا لا نهمل حقيقة أن بالإمكان استعمال النباتات نفسها كوقود. لقد كانت الأخشاب وأغصان الأشجار مصدر الطاقة الأساسي للإنسان قبل اكتشاف الفحم والبترول.

إلى الآن مازال هناك الكثيرون عن يعيشون في الأرياف يعتمدون على الأخشاب وأغصان الأشجار كمصادر للطاقة سواء تسخين الحياة أو الطبخ أو تدفئة البيوت، ولما كانت النباتات بأكملها هي نتاج عملية التمثيل الضوئي إضافة إلى بعض العناصر الكيماوية التي تحصل عليها النباتات من التربة، فإنه يمكننا القول أن عملية التمثيل الضوئي كانت مصدر الطاقة الأساسي للإنسان خلال عصور طويلة.

تعتبر البرازيل من الدول الرائدة في مجال إنتاج محاصيل الطاقة، ويعود تاريخ الإنتاج الكحول في البرازيل إلى فترة الحرب العالمية الأولى، ومنذ ذلك التاريخ جرت التجارب على إمكان استعمال الكحول كوقود للسيارات بعد مزجه بالبنزين، ففي عام 1930 صدر قرار في البرازيل جعل من مزج البنزين بالكحول أمراً إجبارياً، غير أن توفر البترول بأسعار رخيصة أدى بالكحول إلى التراجع إلى الصفوف الخلفية تماماً كما حصل مع مصادر الطاقة الأخرى (تباطؤ البحوث في الطاقة الشمسية، اضمحلال أهمية الطاقة الهوائية وتراجع دور الأخشاب والأشجار كمصدر للطاقة). وعاد الاهتمام بإنتاج كحول الايثانول مرة أخرى بعد عام 1973 حين أخذت أسعار النفط بالارتفاع، وكان من نتيجة الاهتمام بإنتاج الكحول أن عاد استعماله كوقود لوسائط النقل بعد مزجه مع البنزين. ففي عام 1978 كان معدل نسبة الكحول في وقود السيارات في البرازيل يساوي 8.8٪.

إن ما يحدد أهمية أي من محاصيل الطاقة هي كمية الطاقة النهائية من المحصول. وحيث أننا نتكلم عن المحاصيل فإن العوامل المؤثرة في كمية الطاقة الناتجة هي كمية المحصول الناتج من وحدة المساحة المزروعة من الأرض وكمية المواد الكربوهيدراتية الموجودة في وحدة الوزن من المحصول ثم كمية الطاقة المطلوبة لتحويل منتجات المحاصيل إلى كحول، إن العلاقة بين هذه المتغيرات معاً هي التي تقرر أفضلية هذا الحصول على غيره.

في الجدول التالي تقدم قائمة ببعض محاصيل الطاقة وهي قصب السكر والمنيهوت والذرة السكرية (السرغوم). ويتضح من الجدول أن قصب السكر هو أفضل هذه المحاصيل إنتاجاً للطاقة تليه الذرة السكرية فالمنيهوت.

كذلك يتضح من الجدول أن إنتاج قصب السكر في وحدة المساحة يعادل أربعة أمثال إنتاج المنيهوت، غير أن الأخير يمتاز بإنتاج كمية أكبر من الكحول في وحدة الوزن.

المحصول	الإنتاج السنوي من المحصول طن/ هكتار	الإنتاج السنوي من الكحول لتر/ هكتار	الطاقة في المحصول ميغا كالوري هكتار/ سنة			الطاقة المستهلكة في إنتاج الكحول ميغا كلوري/ هكتار/ سنة			الميزان
			الكحول	الفضلات	المجموع	طور الزراعة	طور الصناعة	المجموع	
قصب السكر	54	3564	18747	17550	36297	4226	10814	15040	21257
المنيهوت	14.5	2523	13271	-	13271	2753	8883	11636	1635
الذرة السكرية	-	3775	11830	31686	4667	4667	11883	16550	15136

لكن لو نظرنا إلى تأثير العاملين معاً لوجدنا أن قصب السكر ينتج كمية من الكحول أكبر من المنيهوت وهناك ملاحظة جديرة بالتنويه في الجدول المذكور. إذ لو أننا أهملنا الطاقة الموجودة في فضلات قصب السكر والذرة السكرية ونظرنا إلى كمية الطاقة النهائية دون أخذ طاقة الفضلات بعين الاعتبار لوجدنا أن كمية الطاقة للمحاصيل الثلاثة هي على الترتيب 3707 و 1635 و 3306 ميغا كالوري. على ذلك فإن الاستفادة من طاقة الفضلات أمر بالغ الأهمية لرفع كمية الطاقة النهائية التي يمكن الحصول عليها من قصب السكر أو الذرة السكرية.

يتم إنتاج الكحول من السكر بواسطة عملية التخمير حيث يتحول سكر الجلوكوز إلى الايثانول وثاني أوكسيد الكربون كما في المعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_2 + 2Co_2$$

ثاني أوكسيد الكربون + ايثانول ← سكر جلوكوز

92 غم   180 غم

655 كيلوكالوري   673 كيلوكالوري

يتضح من المعادلة السابقة أن تخمير الجلوكوز يؤدي إلى إنتاج كمية من الايثانول يعادل وزنها حوالي نصف وزن الجلوكوز الأصلي دون أن يؤدي ذلك إلى تخفيض كمية الطاقة بشكل ملموس، إن تخمير 180 غرام من الجلوكوز تحتوي على 673 كيلو كالوري من الطاقة يؤدي إلى إنتاج 92 غرام من الايثانول تحتوي على 600 كيلوكالوري. والكحول الناتج من عملية التخمير هذه يمكن استعماله مباشرة في مكائن الاحتراق الداخلي بالشكل نفسه الذي نستعمل به البنزين، إن استعمال الكحول في السيارات يقتضي إجراء بعض التعديلات البسيطة في جهاز مزج الوقود بالهواء (الكاربوريتر) بحيث يتم تبخير سائل الايثانول قبل دخوله إلى اسطوانات الحرق.

2) إنتاج الغاز من مخلفات الحيوانات:

إن الاستفادة من مخلفات الحيوانات ليست بالأمر الجديد فلقد استعمل الإنسان ومازال مخلفات الحيوانات كأسمدة للتربة في الوقت الذي لم يكن باستطاعته صناعة الأسمدة الكيماوية وإلى ذلك فقد استعملت مخلفات الحيوانات أيضاً لإنتاج الطاقة وذلك بحرقها مباشرة، ومن بين الاستعمالات الأخرى دخول المخلفات في بعض عمليات البناء المحددة.

والآن حيث يعيش العالم هاجس استنزاف مصادر الطاقة الأحفورية مع ارتفاع أسعارها عما كانت عليه فقد عاد للإهتمام مرة أخرى بمخلفات الحيوانات باعتبارها مصدر طاقة، لقد كان أمراً مألوفاً في السنوات القليلة الماضية أن يتحمل صاحب مزرعة حيوانات أو السلطات البلدية في المدن المصاريف الطائلة للتخلص من المخلفات. غير أنه من المتوقع أن تتغير الصورة في المستقبل بحيث أن هذه المخلفات ستصبح مصدر توفير حينما يتم استخدامها لإنتاج غاز الميثان.

من ضمن العناصر التي تحويها مخلفات الحيوانات هناك الكربون والهيدروجين والنيتروجين الكربون والهيدروجين هما من المكونات الأساسية والرئيسية في معظم أنواع الوقود المتعارف عليه. أما النيتروجين فهو ما تحتاجه النباتات. على هذا فإن مخلفات الحيوانات تصلح كمصدر للطاقة وكسماد للنباتات في ذات الوقت. ان استعمال مخلفات الحيوانات كسماد فقط يعني هدر الطاقة المتوفرة فيها والتي يمكن الحصول عليها بسهولة.

إن الحصول على غاز الميثان من مخلفات الحيوانات ليس الأمر الشائع في وقتنا الحاضر رغم أن هذه المسألة شهدت بعض الاهتمام في ثلاثينات وأربعينات القرن الحالي وإذا كان العالم الصناعي لم يبد اهتماماً واسعاً بإنتاج الميثان من مخلفات الحيوانات فإن هذا ليس بالضرورة هو واقع الدول الأخرى، فهناك الكثير من القرى الهندية التي ما زالت تنتج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات

وتستعمله لأعمال تسخين المياه والطبخ. أما في الصين فقد حظي الأمر باهتمام واسع نتيجة للعدد الكبير من الحيوانات (المدجنة) ونتيجة للطابع الجماعي في الحياة الريفية الصينية. وتكمن أهمية النقطة الأخيرة في إن إنشاء جهاز لانتاج كمية من الميثان تكفي لعائلة يحتاج إلى مخلفات خمسة حيوانات، من هنا فإن جدوى إنشاء أجهزة إنتاج الميثان تعتمد إلى حد كبير على طبيعة العلاقات السائدة في القرى مثلاً ودرجة التعاون بين السكان لجمع المخلفات وتوزيع الغاز، إن مثل هذه المشكلات لن تواجه صاحب مزرعة يمتلك آلاف الرؤوس من الأبقار وغيرها.

إذ ستتوفر لديه كميات كبيرة من المخلفات وسيستطيع بالتأكيد بيع القسم الأكبر من الغاز الناتج.

يتم إنتاج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات بواسطة طريقة تدعى "الهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion) إذ توضع مخلفات الحيوانات في وعاء يدعى الهاضم ولا يسمح للأوكسجين بالدخول إلى حيث توجد المخلفات، فتقوم البكتريا بتحليل المخلفات في جو خال من الأوكسجين ويكون الناتج غاز الميثان وأوكسيد الكربون، ثم يجمع الغاز الناتج من عملية تحلل المخلفات في خزان، ومن ثم يستعمل في الأغراض المطلوبة.

يبلغ حجم الغاز المنتج من المخلفات ما يعادل 5، 1- 5، 2 من حجم الهاضم نفسه، فلو افترضنا أن حجم الهاضم يبلغ ألف لتير فإن حجم الغاز الناتج يبلغ حوالي ألف وخمسمائة إلى ألفين وخمسمائة ليتر من الغاز، وتختلف نسبة المثيان في الغاز الناتج اعتماداً على نوع المخلفات المستعملة غير أن النسبة تتراوح بشكل عام ما بين 60 – 70٪.

وتحتوي المخلفات التي تبقى بعد إنتاج الغاز على النيتروجين، وهو الذي تحتاجه النباتات لذلك فإن مخلفات عملية الهضم اللاهوائي تستعمل أسمدة للنباتات في المزارع، وبهذا الشكل يمكن الاستعاذة من مخلفات الحيوانات باعتبارها مصدر طاقة ومصدر أسمدة في ذات الوقت.

تعتبر الأبقار من أفضل الحيوانات في مجال إنتاج الغاز من المخلفات إذ أن مخلفات البقرة الواحدة في اليوم الواحد تنتج ما يساوي 1200 ليتر من الغاز، أما بالنسبة للدجاجة الواحدة 9 ليترات فقط وفي الجدول التالي قائمة بإنتاج الغاز من مخلفات هذه الحيوانات.

جدول إنتاج الغاز من مخلفات الحيوانات

الإنتاج باللتيرات من مخلفات الحيوان ليوم واحد

الحيوان	حجم الغاز الناتج	نسبة الميثان في الغاز	القيمة الحرارية في ليتر من الغاز/ كيلو جول
بقرة حلوب	1200	%59	22
دجاجة	9	%68	25

إن من بين الصعوبات الفنية التي يفرضها غاز الميثان مسألة الخزن، إذ أن حزن الميثان مسألة تختلف عند خزن الغازات العضوية الأخرى كالبروبين والبيوتين، فمن أجل تخفيض حجم الميثان بصورة ملموسة يجب ضغطه إلى ما يعادل 200 ضغط جوي، وإذا ما أريد الاحتفاظ به بشكل سائل فلابد من تبريده، أن اللجوء إلى واحدة من الطرق السابقة لخزن الميثان يعني استعمال الضاغطات أو أجهزة التبريد التي تحتاج إلى طاقة كي تعمل، ويؤدي هذا بالطبع إلى تقليل الفائدة الكلية من إنتاج الميثان. كما أن اللجوء إلى خزن الغاز دون ضغط أو تبريد يعني ضرورة بناء خزانات كبيرة الحجم وهو ما يستدعي استثمارات أولية عالية لذلك فإن من الضروري استهلاك أكبر كمية من غاز الميثان الناتج حال خروجها من الهاضم مع الاحتفاظ بخزان مناسب لتلبية أية زيارة طارئة في الطلب على الطاقة.

3) الطاقة من القمامة والنفايات:

تعرف القمامة باسم "الخام المدني" باعتبار أن مشكلة القمامة ظهرت مع توسع المدن وظهور الصناعات، وكان بالإمكان التخلص من كميات القمامة

القليلة التي كانت تنتجها القرى في الأرياف وذلك بقذفها في العراء، واستعمالها كأسمدة للأرض، لكن الآن تتجمع كميات كبيرة من القمامة في الدول الصناعية وبخاصة تلك التي تتمتع بمعدلات استهلاك عالية يرافقه تبذير في طريقة استعمال المواد المختلفة، سواء كان ذلك في الصناعات أو في الاستهلاك البشري. ففي بلد مثل بريطانيا يبلغ وزن القمامة المتجمعة سنوياً حوالي 20 مليون طن، أما في الولايات المتحدة الأمريكية فإن الرقم يرتفع ليصل إلى حوالي 200 مليون طن سنوياً علماً بأن عدد سكان الولايات المتحدة الأمريكية لا يزيد عن خمسة أضعاف عدد سكان بريطانيا.

وتقول بعض التقديرات إن كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من عشرين مليون الطن قمامة في بريطانيا تعادل طاقة حوالي ستة ملايين طن من الفحم، وتشكل كمية الطاقة هذه حوالي 5٪ من استهلاك محطات توليد الطاقة الكهربائية في بريطانيا.

أما بالنسبة للولايات المتحدة الأمريكية فإن التقديرات المتوفرة تقول: أنه بالإمكان إنتاج 10٪ من متطلبات محطات توليد الطاقة الكهربائية من الوقود فيما لو استعملت كمية القمامة المتجمعة في ذلك البلد لأغراض إنتاج الطاقة.

وفي الواقع هناك بعض المدن التي بدأت في استغلال القمامة لتوفير جزء من متطلباتها من الطاقة. ففي مدينة فرانكفورت في ألمانيا الغربية يجري إنتاج حوالي 7٪ من استهلاك المدينة من الكهرباء بواسطة حرق أكوام القمامة ونقل الطاقة الناتجة إلى محطات توليد الكهرباء. وهناك طرق عديدة للحصول على الطاقة من القمامة والنفايات منها.

1) طريقة الحرق المباشر:

وتعتمد هذه الطريقة على بناء محارق خاصة لحرق القمامة والنفايات واستخدام الحرارة الناتجة في تسخين المياه أو إنتاج البخار الذي يمكن استعماله بعد ذلك في تشغيل التوربينات وتوليد الطاقة الكهربائية.

إن هذه الطريقة رغم بساطتها إلا أنها ليست الطريقة الفضلى ولا المثلى للاستفادة من أكوام القمامة، إن حرق كميات القمامة الكبيرة يحتاج إلى محارق كبيرة الحجم تكون في العادة مكلفة من الناحية الاقتصادية، كما أن ضمان حرق كمية النفايات كلها يحتاج إلى تقليب القمامة داخل المحارق بشكل مستمر، وهناك أيضاً مسألة كفاءة المحارق التي تكون في العادة منخفضة لأن قسماً من الحرارة يتسرب إلى الخارج عبر الدخان المنبعث من المداخن، وإضافة إلى ذلك فإن الدخان المنبعث من المداخن يؤدي إلى تلويث الأجواء المحيطة.

إن استعمال طريقة الحرق المباشر يضع قيوداً على استعمال الطاقة المتولدة فالطاقة الحرارية الناتجة عن عملية الحرق لا يمكن نقلها من مكان إلى آخر بل يجب استعمالها في المحطة نفسها وذلك بتسخين المياه أو إنتاج البخار لتشغيل التوربينات، لذا فمن أجل التغلب على هذه التغييرات يجري التفكير باللجوء إلى العمليات الكيمياوية لاستخراج بعض أنواع الوقود من النفايات. إن الوقود الناتج عن مثل هذه العمليات الكيمياوية يمكن خزنه أو نقله واستعماله حسب الحاجة.

II) طريقة الهدرجة:

هذه أحدى الطرق الكيمياوية المستعملة في استخراج زيوت الوقود من القمامة، والهدرجة هي عملية اختزال كيماوي القصد منها استخراج الأوكسجين من المخلفات العضوية وبخاصة السيلولوز الذي يشكل أحد العناصر الرئيسية في هذه المخلفات. يتركب السيلولوز من الأوكسجين والهيدروجين والكربون. وحين يتم التخلص من الأوكسجين يتبقى عنصرا الكربون والهيدروجين وهما أساسيان في الوقود.

يتمثل الجانب العملي في عملية الهدرجة في وضع المخلفات العضوية وأحد العوامل المساعدة مثل كربونات الصوديوم في مفاعل، ويجري بعد ذلك بإدخال بخار الماء وأول أوكسيد الكربون إلى المفاعل تحت ضغط يعادل 100- 250 ضغط جوي ودرجة حرارة تتراوح ما بين 240 – 380 درجة مئوية، تستمر هذه

العملية حوالي ساعة واحدة ينتج عنها تحويل الهيدروجين والكربون إلى زيوت نفطية.

وينتج عن عملية الهدرجة هذه إنتاج برميلين من زيوت المحروقات لكل طن واحد من المخلفات والنفايات لكن حيث إن عملية الهدرجة نفسها تحتاج إلى حرارة وأول أوكسيد الكربون من أجل إتمام التفاعل فإن الناتج النهائي لهذه العملية يعادل حوالي 1.25 برميل زيت لكل طن من القمامة. والزيوت الناتجة من عملية الهدرجة هي من نوع الزيوت البرافينية الثقيلة التي تحوي بعض الأوكسجين والنيتروجين وقليلاً جداً من الكبريت. وتبلغ الطاقة الحرارية للرطل الواحد من هذه الزيوت حوالي 15 ألف وحدة حرارية بريطانية.

III) التحلل الحراري:

هذه الطريقة ليست سوى "طبخ" النفايات في جو خال من الأوكسجين حيث يتم في البداية تجفيف النفايات للتخلص من الماء الموجود فيها ومن ثم تقطع إلى قطع صغيرة، ويكون قد تم فصل المواد العضوية من غير العضوية. بعد ذلك تدخل النفايات العضوية إلى وعاء مقفل ولا يسمح للهواء بالدخول إلى داخله. وتُسخّن النفايات إل درجة حرارة تعادل حوالي 500 درجة مئوية حيث تحلل المواد العضوية، وينتج من هذه العملية برميل زيت واحد لكل طن واحد من النفايات، وإلى جانب ذلك ينتج حوالي 160 رطلاً من الفحم وبعض الغازات الأخرى ذات القيمة الحرارية المنخفضة ويستعمل الفحم والغاز كوقود لتوليد الحرارة المطلوبة للتفاعل.

لا يجري في هذه العملية التخلص من الأكسجين الموجود في السيلولوز ولذا فإن الزيت الناتج يحتوي على نسبة عالية من الأوكسجين تصل إلى حوالي الثلث، أما النيتروجين والكبريت فإنهما موجودان بنسبة قليلة، وبسبب نسبة الأوكسجين العالية في الزيت الناتج فإن القيمة الحرارية لهذا الزيت تكون منخفضة وتبلغ حوالي 10500 وحدة حرارة بريطانية للرطل الواحد.

إن من مزايا عملية التحلل الحراري إنها لا تؤدي إلى أية آثار تلوثية وبذلك فإنها أكثر قبولاً من طريقة الحرق المباشر. كذلك تكون الزيوت والغازات الناتجة أكثر ملاءمة للخزن والنقل والاستعمال عند الحاجة.

إن استخدام القمامة كمصدر للطاقة لن يؤدي إلى تلبية بعض متطلبات الإنسان من الطاقة فقط بل ستقدم أيضاً حلاً لمشكلة تراكم القمامة التي تشكل عبئاً مالياً على كاهل السلطات البلدية في المدن كما تمثل مساحات واسعة من الأراضي يمكن استغلالها في الزراعة أو لأغراض التوسع المدني المختلفة.

الهيدروجين:

يحظى الهيدروجين باهتمام واسع كوقود مستقبلي وكوريث لأنواع الوقود المعروفة في عصرنا خاصة البترول والغاز، إن للاهتمام بالهيدروجين كوقود مستقبلي ما يبرره، فلو افترضنا أن مصادر البترول والغاز قد انتهت تماماً ولم يتبق منها شيء فما هو الوقود الذي يمكن أن يحل محلها لتسيير كافة أنواع وسائط النقل البرية والبحرية والجوية؟، ثم ما هو الوقود الذي سيحل محل الغاز المستعمل في تدفئة البيوت وفي المطابخ؟! إذ نظرنا حولنا في محاولة للإجابة على هذه الأسئلة فإننا لن نجد أفضل من الهيدروجين.

إن للهيدروجين كوقود مزايا عديدة بالمقارنة بمزايا أنواع الوقود المتوفرة ومصادر الطاقة البديلة، فالهيدروجين مثلاً يحتوي على أكبر كمية من الطاقة في وحدة الزمن مقارنة بالمحروقات الأخرى فالقيمة الحرارية في كيلو غرام واحد من البنزين تبلغ 47200 كيلو جول، بينما في الديزل تبلغ 45800 كيلو جول أما كيلو غرام واحد من الهيدروجين فإنه يحتوي على 142000 كيلو جول أي ما يعادل أكثر من ثلاثة أمثال القيمة الحرارية لأي من البنزين أو الديزل. غير أن الوضع يختلف حيث تتحدث عن القيمة الحرارية في الأحجام، فكمية الحرارة في

حجم معين من الهيدروجين تعادل أقل من ثلث كمية الحرارة في ذات الحجم من البنزين أو الديزل.

من بين مزايا أنواع الوقود المستعملة حالياً أنه يمكن نقلها بوسائل مختلفة سواء في صهاريج أو خطوط أنابيب مما يسهل إيصالها إلى المستهلكين ويجعل منها مادة مرغوبة للاستهلاك.

والهيدروجين أيضاً يمكن نقله سواء بشكل سائل أو غاز وسواء كان ذلك في صهاريج أو في خطوط أنابيب مما يجعله وقوداً مقبولاً ويجعل التعامل معه أمراً مرناً.

إن خطوط الأنابيب التي تقوم حالياً بنقل الغاز يمكن استخدامها لنقل الهيدروجين دون أية مشكلات تذكر. ونتيجة لانخفاض كثافة الهيدروجين وانخفاض لزوجته فإن بالإمكان نقل أحجام كبيرة من الهيدروجين أكبر مما يمكن نقله حالياً من الغاز مما يعوض في النهاية عن انخفاض القيمة الحرارية في وحدة الحجم من الهيدروجين مقارنة بالقيمة الحرارية لنفس وحدة الحجم من الغاز. إن هذا يعني أن ضخ كمية من الطاقة بشكل هيدروجين لن يكلفنا من الضاغطات وما تستهلكه من طاقة أكثر مما يكلفنا الأمر مع الغاز.

يتميز الوقود المستعمل حالياً بأنه سهل الخزن. إذ أن كل ما يتطلبه الأمر هو بناء خزانات محكمة وضخ الوقود فيها والاحتفاظ به لأية فترة زمانية نرغب بها. إضافة إلى ذلك فإن خزن الوقود ولو لفترات طويلة لا يؤثر على خصائصه ولا يغير فيها شيئاً وهكذا الحال أيضاً مع الهيدروجين فإن بالإمكان خزنه في صهاريج أو خزانات لفترات طويلة واستعماله عند الحاجة وبالمقادير المطلوبة دون أن يؤثر ذلك على خصائصه. إن خاصة الخزن للوقود أو لمصدر الطاقة أمر جد مهم إذ أنه يمنحنا القدرة على استعمال هذا المصدر بالشكل الذي نرغب بحيث إننا نطوع مصدر الطاقة هذا لرغباتنا بدل أن نضطر للتأقلم مع التقييدات التي يفرضها مصدر طاقة لا يمكن خزنه.

إن الخاصيتين السابقتين تضعان الهيدروجين في موقع المنافس لأنواع الوقود المستعملة حالياً وتمنحه في ذات الوقت مزايا بالنسبة لمصادر الطاقة البديلة كالشمس والهواء وغيرهما، فالطاقة الشمسية لا يمكن نقلها من مكان إلى آخر بل إنها تسقط بشكل موجات كهرومغناطيسية وعلينا أن نذهب إلى حيث تسقط الأشعة للاستفادة منها. وكذلك الحال مع طاقة الهواء أو الرياح فإن استغلالها يفرض علينا أن نذهب إلى حيث تتوفر ولا يمكننا نقلها من مكان إلى آخر إلا إذا قمنا بتحويلها إلى شكل آخر من الطاقة كالكهرباء التي قد نستخدمها لإنتاج الهيدروجين. أما بالنسبة لمسألة الخزن فإن بالإمكان خزن الطاقة الشمسية بشكل طاقة حرارية لتسخين المياه أو تسخين الصخور، غير أن خزن كميات كبيرة من الطاقة بهذا الشكل يحتاج إلى خزانات جد كبيرة من الماء أو الصخور وإلى ذلك فإنه لا يمكن رفع درجة حرارة الخزان إلى درجات عالية.

إن خاصية الهيدروجين في كونه قابلاً للنقل والخزن يجعله وقوداً مرناً بمعنى أنه مادام هناك مخزون كاف فإن بالإمكان استخدام الكميات المطلوبة وبالشكل المطلوب.

إن هذا يمنح الهيدروجين صفة التوفر بشكل دائم بعكس ما تتميز به بعض مصادر الطاقة البديلة "كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المد والجزر". فالمعروف أن هذه المصادر من الطاقة البديلة لا تتوفر بشكل دائم بل إنها تتوفر أحياناً وتختفي أحياناً أخرى، فالشمس تتوفر أثناء النهار إذا كان الجو صحواً، وطاقة الرياح تتوفر إن كان هناك رياح ذات سرعات معقولة، لكن ورغم التوفر الجزئي لمصادر الطاقة هذه فإنها أثناء توفرها لا تمتلك نفس المعدلات من الطاقة بل إنها تتغير زمانياً. فكمية الطاقة الشمسية المتوفرة أثناء الظهيرة أعلى منها في الصباح أو عند الغروب.

وعند الحديث عن طاقة الرياح فإن الطاقة المتوفرة تتناسب مع مكعب السرعة. التي تتغير بشكل مستمر، وهذه الخصائص تجعل من الهيدروجين

وسيطاً وحيداً لتحويل هذه المصادر من الطاقة إلى مصدر جديد يمتاز بإمكان النقل والخزن وبالتالي تعدد الاستعمالات وإمكان تحقيقها في أي وقت نشاء.

إن أنواع الوقود المتوفرة حالياً، برغم مزاياها التي ذكرنا، تتميز بخاصيتين سلبيتين الأولى أن مصادر الوقود ليست دائمة ولا متجددة بل هي موجودة بكميات محدودة لن تلبث أن تنتهي تماماً أو يصبح استغلالها أمراً غاية في الصعوبة الفنية وغالي التكاليف، إن هذه الخاصة بحد ذاتها كافية لأن تجعلنا نبحث عن بديل لمواجهة ما يمكن أن ينشأ مستقبلاً في حال نضوب مصادر الوقود، أما الخاصية الثانية فهي أن عملية حرق الوقود تؤدي إلى إنتاج بعض المواد السامة وذات الآثار التلويثية، فاحتراق الوقود يؤدي إلى إنتاج أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت ناهيك عن ثاني أوكسيد الكربون، والمعروف أن هذه الغازات سامة أو ضارة وأن ارتفاع نسبتها في الجو ذو نتائج سلبية.

لكن حين نتكلم عن الهيدروجين فإننا نتكلم عن مصدر دائم ومتجدد وصحيح أن الهيدروجين لا يوجد بشكل خالص في الطبيعة إلا بكميات ضئيلة، لكنه موجود بكثرة وأكثر من أي عنصر آخر لكن بشكل مركبات، أي أن الهيدروجين يوجد متحداً مع عناصر أخرى، وأهم المركبات التي يوجد فيها الهيدورجين هو الماء. فكل جزيء من الماء يحتوي على ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأوكسجين، ولسنا في حاجة إلى الإشارة إلى الكميات الضخمة من مياه البحار والمحيطات وبالتالي إلى الكميات الضخمة من الهيدروجين الموجودة في الطبيعة، غير أنه من أجل الحصول على الهيدورجين لابد من استخلاصه في البداية من مصادره وتحديداً من الماء. ولكن عملية الاستخلاص هذه تحتاج إلى مصدر أولي للطاقة سواء كانت طاقة حرارية أو كهربائية أو ضوئية من هنا نصل إلى النتيجة بأن الهيدرجين ليس مصدراً أولياً للطاقة وإنما هو وسيط فقط أي أننا نقوم بتحويل المصدر الأولي للطاقة إلى هيدروجين نستفيد منه ثم من قيمته

الحرارية. وحين يحترق الهيدروجين فإنه يتحد مع الأوكسجين ويكون الناتج بخار ماء ليس إلا.

بذلك فإن الهيدروجين الذي يستخلص من الماء يحترق ويعطي ما يحتويه من طاقة ليتحول بعد ذلك إلى ماء، أي أنه يعود إلى حالته الأولى. بهذا فإن حرق الهيدروجين لا يؤدي إلى إفنائه بل إلى الاحتفاظ به بصورته الأصلية، ونتيجة لعملية الاحتراق هذه الذي ينتج عنها الماء فإن الآثار التلويثية للهيدروجين تكون في العادة معدومة. إن هذه الخصائص تعطي الهيدروجين فضلاً على غيره من أنواع الوقود.

ويمتاز لهب الهيدروجين بكونه سريع الانتشار وذا درجة حرارة عالية، وبالنسبة للخاصية الأولى. فإن هذا يعني أن لهب الهيدروجين ينتقل بسرعة كبيرة مما يقلل من أخطار الحرائق، كذلك ينتشر الهيدروجين في الجو بسرعة كبيرة مما يقلل من نسبة تركيزه فيما لو انفجر خزان من الهيدروجين مما يقلل أيضاً إمكان نشوب الحرائق، أما ارتفاع درجة حرارة لهب الهيدروجين فإن هذا يمنحه إمكان الاستعمال في العمليات الصناعية التي تتطلب درجات حرارة عالية بما فيها عمليات اللحام.

والهيدروجين مثل الغاز الطبيعي لا رائحة له، ولذلك فإنه في حالة انتشار استعماله فمن الضروري إضافة بعض الروائح إليه حتى يصبح بالإمكان معرفة ما إذا كان هناك أي تسرب من خزان الهيدروجين مثلاً، كذلك فإن لهب الهيدروجين النقي لا لون له ولابد في الحالة هذه من إضافة بعض المواد التي تعطي لهب الهيدروجين لوناً حتى يمكن معرفة أنه يشتعل، إن هذه الأمور ليست إلا إجراءات للسلامة ولجعل استعمال الهيدروجين أمراً مأموناً الهيدروجين إذن وقود جد ملائم لاحتياجاتنا. لكنه كما ذكرنا ليس مصدراً أولياً للطاقة بل هو وسيط، حيث إن إنتاجه يتطلب توفر مصادر أولية، والآن كيف يمكن إنتاج الهيدروجين؟!

طرق إنتاج الهيدروجين:

1) التحليل الكهربائي:

تعتمد هذه الطريقة على إمرار تيار كهربائي في الماء فيتحلل الماء إلى مكوناته الأصلية الأوكسجين والهيدروجين، تصل كفاءة هذه الطريقة إلى 80٪، لكن حين نأخذ في الاعتبار كفاءة تحويل الطاقة الأولية إلى كهرباء ثم إلى هيدروجين فإن الكفاءة العامة، أي كفاءة التحويل من مصدر الطاقة الأولية حتى إنتاج الهيدروجين لا تزيد عن 30٪.

إن تكلفة إنتاج الهيدروجين بواسطة التحليل الكهربائي أعلى من تكلفة إنتاجه من الغاز الطبيعي، ومن أجل التغلب على هذه العقبة الاقتصادية فقد طرحت اقتراحات بأن يتم إنتاج الهيدروجين من الطاقة الكهربائية الزائدة في محطات توليد الطاقة الأولية، والمقصود بالطاقة الزائدة الفارق بين الطاقة المنتجة في محطة توليد الكهرباء في لحظة وبين الاستهلاك. إذ بدل أن يضيع هذا الفارق سدى فإن بالإمكان استخدامه لإنتاج الهيدروجين الذي يستعمل من ثم في العديد من المجالات الملائمة.

سبق أن قلنا إن الهيدروجين طاقة وسيطة ولذلك فلابد من توفر مصدر طاقة أولية حتى يمكن إنتاجه. لذا فإن التفكير بإنتاج الهيدروجين من خلال توليد الطاقة الكهربائية بواسطة استعمال مصادر الطاقة الحالية من فحم وبترول وغاز ليست بالطريقة المثلى.

إضافة إلى محدودية المصادر الحالية للطاقة ومن أجل التغلب على هذه العقبة فإن الجهود نتيجة في إنتاج الهيدروجين بالاعتماد على مصادر الطاقة الطبيعية المتجددة كمصادر أولية. ومن بين المصادر المؤهلة لأن تستخدم لتوليد الكهرباء، ومن ثم إنتاج الهيدروجين نشير إلى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية في البحار والمحيطات، أن هذه المصادر تتمتع بخصائص تجعلها ملائمة لإنتاج الهيدروجين فالشمس والهواء كمصادر للطاقة تتميز بكونها لا

تتوفر بمقادير ثابتة طول الوقت بل تتغير باستمرار ولابد من اللجوء إلى خزنها إن أردنا الاستفادة منها في الأوقات التي لا تتوفر فيها. أما بالنسبة للطاقة الحرارية في البحار والمحيطات فإنها تتوفر في مناطق تبعد عشرات أو مئات الأميال عن مراكز الاستهلاك ولذلك فإن تحويلها إلى هيدروجين يبدو حلاً معقولاً ومقبولاً.

2) **التحلل الحراري:**

المقصود بالتحلل الحراري هو تحويل الماء إلى بخار ومن ثم رفع درجة حرارته إلى 2500 درجة مئوية حيث يتحلل الماء إلى الأوكسجين والهيدروجين. إن هذه الطريقة رغم كونها تحويلاً مباشراً للطاقة الحرارية إلى هيدروجين إلا أنها ليست مدرجة على جدول أعمال أي شركة صناعية أو مركز أبحاث. ومن بين الصعوبات التي تواجه هذه الطريقة مشكلة صناعة الأجهزة التي تتحمل درجات الحرارة العالية المطلوبة. وكذلك هناك مشكلة فصل الأوكسجين عن الهيدروجين بعد التحلل، وحتى لو تم التغلب على هذه الصعوبات فستبقى هناك صعوبات الوصول إلى درجة الحرارة العالية المطلوبة اعتماداً على المصادر الطبيعية أو حتى على المفاعلات النووية. ففي المفاعلات النووية لا ترتفع درجة حرارة الماء أو الهواء المستعمل لنقل حرارة التفاعل النووي إلى أكثر من 800 درجة مئوية. أما اللجوء إلى الطاقة الشمسية من أجل الوصول إلى درجة حرارة تساوي 2500 درجة مئوية فهو ليس بالأمر الممكن ضمن المعطيات الحالية.

3) **العمليات الكيميا- حرارية:**

تتبع هذه الطريقة للتغلب على درجات الحرارة العالية المطلوبة في عملية التحلل الحراري. وتقوم هذه الطريقة على إنتاج الهيدروجين وبواسطة تفاعل الماء مع بعض المركبات الكيمياوية وبعد سلسلة من هذه التفاعلات يتحول الماء إلى أوكسجين وهيدروجين وتعود المركبات الكيمياوية إلى حالتها الأصلية، وهناك العديد من المركبات الكيمياوية التي يمكن استخدامها في سلسلة التفاعلات

لإنتاج الهيدروجين. غير أن إحدى العقبات أمام هذه العملية هي درجة الحرارة العالية نسبياً المطلوبة والتي تصل إلى حوالي 800 درجة مئوية. إن الوصول إلى درجة الحرارة العالية هذه ليس بالأمر السهل فكما ذكرنا سابقاً فإن النواقل الحرارية في المفاعلات النووية لا ترتفع درجة حرارتها إلى أكثر من 800 درجة مئوية في الوقت الذي إذا أردنا إجراء تفاعل على درجة حرارة تساوي 800 درجة مئوية فإن مصدر الحرارة الذي سيقوم بتزويدها على هذه الدرجة لابد أن يكون درجة حرارة أعلى.

أدت البحوث التي أجريت في مجال العمليات الكيمياحرارية إلى الوصول إلى بعض المركبات التي تحتاج لدرجة حرارة تساوي 650 درجة مئوية لإجراء التفاعلات المطلوبة وتقوم هذه الطريقة على مفاعلة كلوريد الحديدوز ($FeCl_2$) مع بخار الماء. ينتج من هذا التفاعل أوكسيد الحديديك (Fe_3O_4) وحامض الهيدروكلوريك والهيدروجين. ولكن رغم إنتاج الهيدروجين في هذا التفاعل إلا أن سلسلة التفاعلات لم تنته ولابد من استخلاص كلوريد الحديد مرة أخرى. ولذلك لابد من إكمال سلسلة التفاعلات الحلقة الثانية في سلسلة التفاعلات هي إضافة الكلور إلى أوكسيد الحديد (FeO_3) وحامض الهيدروكلوريك ينتج منه كلوريد الحديديك ($FeCl_3$) والماء والأوكسجين ونلاحظ أن كلوريد الحديد الناتج في الحلقة الثانية يختلف عن كلوريد الحديدوز الذي دخل في بداية الحلقة الأولى في أنه يحتوي على ثلاث ذرات كلور بدل ذرتين والحلقة الثالثة في التفاعل تقوم على تحليل كلوريد الحديدك (FeCl 1) وتحويله إلى كلوريد حدويدوز ($FeCl_2$) وكلور، وبذلك يكون الناتج النهائي لسلسلة التفاعلات هو تحويل الماء إلى هيدروجين وأوكسجين وإعادة استخلاص كلوريد الحديدوز بصورته الأولى ($FeCl_2$).

4) التركيب الضوئي:

في عملية التركيب الضوئي تقوم أوراق النباتات بامتصاص الفوتونات في الضوء وطاقة هذه الفوتونات تحلل الماء إلى أوكسجين وهيدروجين. بعد ذلك

يحصل تفاعل بين ثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين لإنتاج المواد الكربوهيدراتية وإطلاق الأوكسجين إلى الجو. إن عملية التفاعل هذه معروفة جيداً، وهي التي تؤدي إلى خلق حالة من التوازن في مكونات الغلاف الجوي، ومن الواضح أن عملية التركيب الضوئي هذا لا تؤدي إلى إنتاج الهيدروجين. لكن هناك عمليات تركيب ضوئي أخرى تؤدي إلى إنتاج الهيدروجين إذ أن بعض الطحالب التي تنمو في المياه تقوم أيضاً بامتصاص الضوء وبعد سلسلة من التفاعلات تقوم بإطلاق الهيدروجين.

ها نحن إذاً أمام طريقة لإنتاج الهيدروجين دون اللجوء إلى الأساليب المعقدة ودرجات الحرارة العالية. إذ لا يحتاج الأمر إلا إلى زرع مساحات واسعة من الطحالب وتجميع الهيدروجين إلا أن هذه الطريقة لها مشكلاتها الخاصة التي تختلف عن المشكلات السابقة ففي البداية تبلغ كفاءة هذه الطريقة حوالي 1 – 2٪ فقط في الأجواء الطبيعية رغم أنه في بعض التجارب المخبرية وصلت الكفاءة إلى حوالي 9٪. أما المشكلة الثانية فتتبع من انخفاض الكفاءة الأمر الذي يعني أن إنتاج كميات كبيرة من الهيدروجين سيتطلب مساحات واسعة جداً من الطحالب. لكن برغم هذه المشكلات فإن هذه الطريقة تمنح الكثير من الفوائد الإيجابية إذ أنها تعتمد على الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة ولا تبدو هناك أية آثار تلويثية، إن هذه الطريقة في إنتاج الهيدروجين ستصبح أكثر ملاءمة وقبولاً فيما لو تمكنت الأبحاث العلمية الجارية في هذا المجال من رفع كفاءته العملية إذ ستصبح عندها في وضع ينافس تطبيقات الطاقة الشمسية الأخرى وبخاصة تطبيقات إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية التي لا تزيد كفاءتها حالياً عن 10 – 12٪.

5) العمليات الفوتوكيمياوية:

تقوم هذه العملية على إنتاج مصدر من الفوتونات فوق البنفسجية حيث يقوم الماء بامتصاصها ويتحلل إلى أوكسيد وهيدروجين. إن الصعوبة التي تواجه هذه

الطريقة هي إنتاج مصدر الفوتونات. وقد تم طرح فكرة استخدام المفاعلات النووية التي تعمل على أسس الاندماج النووي لإنتاج مصدر الفوتونات. غير أن هذه العملية ما زالت بعيدة عن التنفيذ بسبب عدم وجود مثل هذه المفاعلات النووية. وهناك مشكلة أخرى في هذه العملية وهي ضرورة القيام بفصل الهيدروجين عن الأوكسجين للاستفادة من كليهما على انفراد.

استعمالاتّ الهيدروجين:

الهيدروجين وقود ملائم للحلول محل أنواع الوقود المتوفرة حالياً، وبالإمكان احلاله محلها في كافة المجالات، وبالإضافة إلى هذا فإن الهيدروجين يدخل في العديد من العمليات الصناعية حيث يشكل جزءاً من المنتجات النهائية في العديد من الصناعات الكيمياوية وغيرها. فمن ضمن مجالات استخدام الهيدروجين نشير إلى التالي.

1) الاستعمالات الحرارية في البيوت:

يمكن استخدام الهيدروجين بدل الغاز المستعمل في المطابخ وإن شبكات توزيع الغاز المتوفرة حالياً في بعض الدول تصلح لنقل الهيدروجين بدل الغاز، "كذلك يمكن تعبئة الهيدروجين في اسطوانات الغاز الحالية وبيعه للمستهلكين بنفس الأسلوب". يمكن استعمال الهيدروجين أيضاً كوقود لتسخين المياه أو لتدفئة المنازل. وفي هذا المجال يتفوق الهيدروجين بفائدة جد مهمة على غيرها من الوقود فالهيدروجين حين يحترق ينتج بخار الماء ولا ينتج أية غازات سامة تلوث البيئة، وعليه فإن بالإمكان حرق الهيدروجين في مواقد مغلقة دون الحاجة إلى مداخن مما يؤدي إلى تسرب كميات كبيرة من الحرارة مع الغاز المنبعث وخلال عمليات انتقال الحرارة المختلفة، وتصل هذه النسبة في بعض المواقد إلى حوالي 30٪ من القيمة الحرارية للوقود المستعمل. إن استعمال الهيدروجين سيؤدي إلى الاستفادة من مجمل الطاقة الحرارية الكامنة فيه وسيرفع من كفاءة عملية الاحتراق.

2) وسائط النقل:

الهيدروجين هو وريث أنواع المحروقات المختلفة المستعملة في وسائط النقل المتنوعة. فهو بحكم قابليته للنقل والخزن وتوليد درجات الحرارة العالية يعتبر الوقود المستقبلي لوسائط النقل، واستعمال الهيدروجين لتسيير السيارات مثلاً لا يتطلب سوى تعديل نظام مزج الوقود مع الهواء (الكاربوريتر).

كذلك فإن الهيدروجين وقود ملائم للطائرات بحكم خفة وزنه وارتفاع قيمته الحرارية مقارنة بالوقود المستعمل حالياً. أن هذا سيؤدي إلى تخفيف الوزن الإجمالي للطائرة لكنه من الجانب الآخر سيتطلب زيادة حجمها حيث أن القيمة الحرارية في وحدة الحجم من الهيدروجين أقل من مثيلتها في أنواع الوقود الأخرى.

3) صناعة الأسمدة الكيماوية:

يدخل الهيدروجين في صناعة الأمونيا التي تشكل جزءاً أساسياً من صناعة الأسمدة الكيماوية، وفي صناعة الأسمدة الكيماوية في الوقت الحاضر يتم إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي، إن استعمال الهيدروجين في صناعة الأسمدة الكيماوية أمر في غاية الأهمية في العصر الحالي وفي المستقبل نظراً لتفاقم الأزمة الغذائية في العالم وحاجة العالم المتزايدة إلى الأسمدة الكيماوية.

4) توليد الطاقة الكهربائية:

إن بالإمكان استعمال الهيدروجين كوقود للتوربينات في محطات توليد الطاقة الكهربائية. وكذلك يمكن استعماله لتوليد الطاقة الكهربائية في خلايا الوقود.

خزن الهيدروجين:

إن استعمال الهيدروجين مستقبلاً سيتطلب بالتأكيد توفر إمكانات خزنه بأحجام مختلفة حسب الاستعمالات المتوقعة، فلو افترضنا أن الهيدروجين سيستعمل كوقود في السيارات فإن ذلك يتطلب تعبئته في خزانات وقود السيارات.

غير أن عملية الخزن هذه ستحتاج إلى خزانات ذات أحجام كبيرة بسبب قلة الطاقة في وحدة الحجم من الهيدروجين مقارنة بأنواع الوقود الأخرى. غير أن خزن الهيدروجين قد لا يشكل عقبة في تطبيقات أخرى كاستعماله للطبخ أو التدفئة.

على كل بالإمكان خزن الهيدروجين بشكل غاز أو سائل، غير أن هناك طريقة أخرى للخزن لها العديد من الفوائد ونقصد بها بخزن الهيدروجين بشكل هيدريدات Hydrides، والهيدريد هو عبارة عن مركب كيمياوي يتكون من الهيدروجين وأحد المعادن التي تمتلك خاصية امتصاص الهيدروجين كالمغنيسيوم ومزيج النيكل والتيتانيوم أو الحديد والتيتانيوم وغيرها، فالمغنيسيوم مثلاً باستطاعته امتصاص كمية من الهيدروجين يبلغ حجمها أكبر من حجم المغنيسيوم نفسه بأكثر من ألف مرة، إن خزن الهيدروجين بشكل هيدريد يؤدي إلى التغلب على صعوبات خزنه بشكل غاز أو سائل إذ أنه سيؤدي إلى تقليل أحجام الخزانات المطلوبة.

وحين يتم امتصاص الهيدروجين بواسطة أحد المعادن أو مزيج منها فإن ذلك يؤدي إلى إطلاق كمية من الحرارة تعتمد على المعدن وعلى ظروف التجربة وبخاصة الضغط الذي تجري تحته العملية، وفي حالة الحاجة إلى الهيدروجين فإن استخلاصه من الهيدريد يحتاج إلى أن نقوم بتعريض كمية الحرارة التي انبعثت في المقام الأول. ولذا فإن امتصاص الهيدروجين واستخلاصه تتضمن عمليات شحن وتفريغ حراري. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن الهيدريدات المختلفة تعمل على درجات حرارة مختلفة بمعنى أنها تمتص وتطلق الهيدروجين على درجات مختلفة، فإننا نجد أنفسنا أمام مصادر حرارية على درجات عالية يمكن تجميعها أو التوفيق بينها للاستفادة من هذه الخاصة. لنضع عمليات تكون الهيدريدات وتحللها بشكل معادلات كتابية:

هيدروجين + مادة هيدريدية = هيدريد + حرارة

هيدريد + حرارة = هيدروجين + مادة هيدريدية

هناك العديد عن التطبيقات التي يمكن تحقيقها بواسطة الحرارة المنبعثة عند تكون الهيدريد أو الحرارة المطلوبة لتحلله. هناك مثلاً إمكانية استخدام الحرارة الناتجة عن تكون الهيدريد في أعمال التدفئة أثناء الليل حين لا تتوفر هناك الطاقة الشمسية مثلاً. أما أثناء النهار فإن بالإمكان استخدام الطاقة الشمسية لتحلل الهيدريد إلى مكوناته الأولية، إن خاصية الشحن والتفريغ الحراري حين تكوين وتحلل الهيدريد تعني أنه بالإمكان استخدام الهيدريدات كخزانات حرارية والاستفادة من الحرارة الضائعة ذات درجات الحرارة المنخفضة نسبياً في العديد من الأنظمة الحرارية.

ولنفترض أن الهيدروجين سيستعمل كوقود في سيارات المستقبل، في هذه الحالة يكون من الأفضل حمل الهيدروجين بشكل هيدريد لتحقيق غرض توفير كمية كبيرة من الهيدروجين ولتحاشي أية أخطار محتملة كاحتراق الهيدروجين في حالة حدوث تصادم مثلاً، ولكن من أجل استخلاص الهيدروجين من الهيدريد فإننا نحتاج إلى حرارة، إن بالإمكان ي هذه الحالة الاستفادة من حرارة العادم الناتج من حرق الهيدروجين في محرك السيارة.

هناك تطبيقات أخرى عديدة للهيدريدات مثل توليد الطاقة الكهربائية أو خزنها بشكل هيدروجين يعاد استعماله في الخلايا الوقودية. وكذلك في عمليات التبريد والتدفئة.

ويمكننا أن نخلص إلى أن الهيدروجين وسيط جيد لتحويل مصادر الطاقة الطبيعية إلى أشكال أخرى من الطاقة، وهو يتمتع بمزايا كثيرة على أنواع الوقود المختلفة المستعملة حالياً وعلى المصادر الطبيعية نفسها، لكننا حين نذكر هذا فإنه لا يغيب عن بالنا ضرورة استعمال الهيدروجين في المجالات الأكثر ملائمة. فكما رأينا فإن إنتاج الهيدروجين يحتاج إلى درجات حرارة عالية سواء كان ذلك في العمليات الكيمياحرارية أو في محطات توليد الطاقة الكهربائية سواء كانت تعمل على الوقود النووي أو على الطاقة الشمسية. من هنا فإننا لا

نحبذ فكرة استخدام الهيدروجين كوقود للتدفئة مثلاً إذا كان بالإمكان استخدام الطاقة الشمسية مباشرة لأن التدفئة تتم في العادة على درجات حرارة منخفضة وينطبق نفس الأمر على تطبيقات أخرى كتسخين المياه والتبريد إذ لا يتطلب هذه التطبيقات سوى توفر مصدر حراري على درجة حرارة أقل من 100 درجة مئوية وبالتالي فإنه من الأفضل اللجوء إلى المصادر الطبيعية مباشرة لتقوم بمثل هذه المهمات بدل تبذير الهيدروجين. إن الواجب يقتضي أن لا تكرر نفس الأخطاء التي اقترفناها في التعامل مع مصادر الوقود الحالية من فحم وبترول وغاز حيث يجري تبذير الكثير منها في تطبيقات يمكننا تحقيقها دون تبذير.

الطاقة النووية

تركيب المادة:

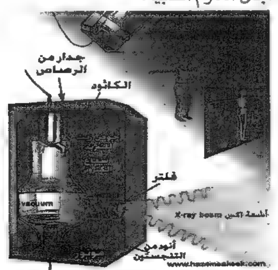
ارتبط اكتشاف واستغلال الطاقة بأشكالها المتعددة بشكل وثيق بالتقدم الحضاري الذي أنجزته البشرية خلال مراحل وجودها. وقد بدأ الإنسان باستخدام الخشب والفحم والنفط لتوليد الطاقة منذ عهود بعيدة قبل أن يفحم الآلية التي تتحرر بها تلك الطاقة. ومن جهة أخرى، فإن استخدام الطاقة الذرية (النووية) كان نتاجاً لتراكمان معرفية تكاثف لإبرازها عدد كبير من العلماء بذلوا جهوداً كبيرة في التعرف على طبيعة المادة. وقد اجتهد الفلاسفة في العهود القديمة لفهم طبيعة المادة فوضعوا لهذا الغرض عدد من الفرضيات والنظريات. وما المبدأ المسمى الذرة والعناصر الخمسة (Anu and Panhatatvas) إلا جزء من الفلسفة الهندية التي كان لمثلها أيضاً رواج في اليونان. وقد كان هناك تطور مستمر في فهم المادة بداية من الفلسفة الإغريقية حتى العصر الحديث.

الطبيعة الكهربائية للذرة Electrical Nature of the Atom:

فور اكتشاف الأشعة المهبطية (الكاثودية) والنشاط الإشعاعي للعناصر، انهارت الفكرة القديمة التي تفترض أن الذرة جسيم لا يمكن تجزئته. لقد لاحظ ميشيل فاراداي عام 1832م أن كمية معينة من الكهرباء تحرر عدد الذرات نفسه لمجموعة مختلفة من العناصر، برغم أنه في بعض الحالات يتحرر نصف العدد المتوقع من الذرات. وفي أحيان قليلة ثلث العدد. بدأ العلماء عند ذلك يضعون في حسبانهم أن الكهرباء يمكن أن تكون كالمادة متكونة من وحدات صغيرة جداً وتلتحم بالذرات بأعداد صحيحة، أمكن بعد ذلك التأكد من أن الكهرباء تنتقل خلال الفلزات والمحاليل وحتى عبر الفجوات الصغيرة. بل وبدأت الدراسات لبحث انتقال الكهرباء في الفراغ التام وفي عام 1876م قام ايجان جولدشتين (1850 – 1931م) بوضع موصلين داخل أنبوب زجاجي محكم الغلق ومفرغ من الهواء، ثم قام بتطبيق جهد كهربائي عالٍ خلال الموصلين فلاحظ أن هناك

إشعاعات انطلقت من المهبط اتجهت نحو المصعد، فأطلق على هذه الإشعاعات اسم الأشعة المهبطية وبحلول عام 1885م، تمكن وليام كروكس (1832 – 1919) من التدليل على أن الأشعة المهبطية يمكنها تدوير عجلة صغيرة موضوعة في طريقها، مما يشير إلى أن الأشعة المهبطية تتكون من سيل من الجسيمات الصغيرة الشبيهة بالذرة. ولاحظ أن الأشعة يمكن حرف مسارها بواسطة مجال مغناطيسي. مما يعني أن الأشعة تحمل شحنة كهربائية. وفي العام 1897م. دلل جوزيف طومسون (1856 – 1940م) على أن الأشعة المهبطية يمكن حرف مسارها أيضاً بواسطة أجسام مشحونة كهربائياً وأن هذه الأشعة تحمل شحنة سالبة. قام طومسون بتسمية "الإلكترون" في الجسيم المكون لأشعة المهبط. وبافتراض أن شحنة الإلكترون تساوي أقل شحنة تعرف عليها فراداي. فقد استنتج طومسون أن الإلكترون هو جسيم خفيف جداً. وقد قيست نسبة كتلة ذرة الهيدروجين إلى الإلكترون لاحقاً ووجد أنها تساوي 1837.

في تلك الفترة تقريباً، كان عالم آخر هو ولهالم رونتجن (1845 – 1923م) يجري دراساته على أشعة المهبط. وفي عام 1895م اكتشف أنه عندما ترتطم هذه الأشعة بالنهاية الأخرى للأنبوبة الزجاجية تنبعث نتيجة ذلك إشعاعات جديدة مختلفة يمكنها اختراق الزجاج والورق وكذلك الأجسام الحية. سمى رونتجن هذه الإشعاعات الأشعة السينية (X – Ray) وقد لمس الجميع فيما بعد أهميتها الكبيرة في مجال العلوم الطبية.



النشاط الإشعاعي:

أدى اكتشاف الأشعة السينية إلى جذب اهتمام عدد من العلماء. وكان من بينهم أنطوان بيكريل (1852 – 1908م). حيث بدأ يبحث فيما إذا كانت الأملاح الفلورية تبعث إشعاعات سينية بسبب الاعتقاد بارتباط أشعة الفلورة بالأشعة السينية. وقام بيكريل بدراسة كبريتات يورانيل البوتاسيوم التي تتوهج عند تعريضها لأشعة الشمس، حيث استخدم لوح تصوير فوتوغرافي للكشف عن الإشعاع. ولكنه سرعان ما اكتشف بأن الملح المستخدم كان يبعث إشعاعات ذات قدرة اختراق عالية تشبه الأشعة السينية، سواءً تم تعريض الملح للشمس أم لا.

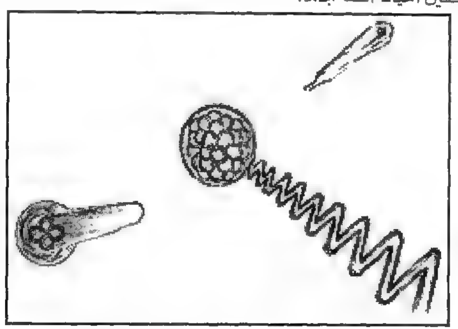
كما لاحظ بيكريل أيضاً أن جزءاً من الإشعاع المنبعث يكمن حرفه عن مساره بواسطة مجال مغناطيسي كما هو الحال في أشعة المهبط. وبينما كان الزوجان بيير كيوري (1859 – 1906م) وماري كيوري (1867 – 1934م) يشاركان بيكريل العمل، دلّلا على أن مصدر الإشعاع كان ذرة اليورانيوم وسميّا هذه الظاهرة، وهي الانبعاث المتواصل للإشعاع، النشاط الإشعاعي. وأول عنصر عرف على أنه مشع هو اليورانيوم. وتلاه مباشرة عنصر الثوريوم. ولم يمض الكثير حتى قادت الدراسات الدقيقة التي قام بها الزوجان كيوري على خامات اليورانيوم إلى اكتشاف عنصرين آخرين مشعين سمّيا الراديوم والبولونيوم. وهذان العنصران موجودان بكميات قليلة جداً في مادة اليورانيوم الخام الطبيعية. ويلزم معالجة أطنان وأطنان من الخام للحصول على جزء من الجرام من عنصر الراديوم. وقد لاحظ الزوجان كيوري أن شدة الإشعاع المنبعث لكل جرام من الراديوم تزيد بعدة آلاف على تلك المنبعثة من عنصر اليورانيوم. وقد كان الراديوم عنصراً مرشحاً للقيام بدور حاسم في عدد من الاكتشافات خلال السنوات التي تلت اكتشافه. ووجود الراديوم يمكن أن يسبب توهج بعض الأملاح التي استخدمت لاحقاً في طلاء عقارب الساعات لرؤيتها ليلاً. وقد سميت وحدة قياس النشاط الإشعاعي الكيوري تكريماً للزوجين كيوري. وقد اتفق فيما بعد على أن هذه الوحدة تساوي 3.7×10^{10} تفكك في الثانية.

وعندما كان إرنست رذرفورد (1871 – 1937م) يدرس طبيعة وماهية الإشعاع المنبعث من اليورانيوم والثوريوم. اكتشف أنه يتكون من جسيمات

موجبة الشحنة وأخرى سالبة الشحنة. أطلق عليها إشعاعات ألفا (α) وإشعاعات بيتا (β) على الترتيب.

وفي عام 1900م، اكتشف باول فيلارد مكوناً آخر لم يتأثر بالمجال المغناطيسي أو الكهربائي سمي فيما بعد إشعاعات جاما (γ). ووجد فيلارد أيضاً أن جسيمات بيتا هي كالإلكترونات تماماً. وقد اكتشف رذرفورد إن إشعاعات ألفا هي جسيمات تحمل شحنتين موجبتين. وأن كتلتها أكبر بكثير من الإلكترونات. وأنها في الحقيقة تعادل كتلة ذرة الهيليوم تقريباً. ومع ذلك فإن جسيمات بيتا تستطيع إختراق الرقائق النحيلة في حين أن ذرات الهيليوم لا تستطيع ذلك وبناء عليه اتضح أن جسيم ألفا أصغر قليلاً من ذرة الهيليوم.

والشكل التالي يوضح التفكك التلقائي لذرة غير مستقرة. والذرات غير المستقرة إما أن تبعث جسيمات ألفا وإما جسيمات بيتا. ويتبع أياً من هذين التفككين أحياناً أشعة جاما.



شكل 12 التفكك التلقائي لذرة غير مستقرة

ويتناسب معدل تفكك الذرات المشعة في وحدة الزمن (-dN/dt) مع عدد الذرات (N) القابلة للتفكك الموجودة في العينة. بمعنى أن:

$$- dN / dt = \lambda N$$

حيث λ هي ثابت التفكك.

وكل نظير مشع يميزه ثابت خاص يسمى عمر النصف، أي الزمن اللازم لتفكك نصف عدد الذرات الموجودة في المادة أصلاً. إلى ذرات نظير آخر. وهذا ما يبينه الشكل التالي.

النظائر Isotopes:

كان أحد زملاء رذرفورد وهو فردريك سودي (1877 – 1956م) يحاول تفسير ظاهرة التفكك الإشعاعي. وقد اقترح أن اليورانيوم عندما يطلق جسيمات ألفا. فإن عنصراً آخر يتكون. وهذا العنصر الجديد يبعث جسم بيتا ويتفكك إلى عنصر آخر. وتستمر عملية انبعاث جسيمات ألفا وبيتا من السلسلة حتى ينتج عن ذلك في النهاية عنصر الرصاص المستقر. وقد لوحظت هذه الظاهرة أيضاً في حالة عنصري الثوريوم والأليتنيوم. وفي سياق هذه الأبحاث تمكن سودي من الكشف عن 40 إلى 50 عنصراً مختلفاً بأعمار نصفيه مختلفة. وبناءً على خصائصها الكيميائية لم يكن ممكناً إدراجها ضمن الجدول الدوري للعناصر.

وبإمعان النظر. لاحظ أن ناتج تفكك اليورانيوم كان له خواص كيميائية مشابهة للثوريوم. وعلى ذلك فقد اقترح انه بما أن هذين العنصرين اللذين لهما كتلتان مختلفتان (234 و 232) متشابهان كيميائياً فإنهما يجب أن يقعا في المكان نفسه. وقد سميت مثل هذه العناصر بالنظائر بمعنى أن لها المكان نفسه. وبشكل مشابه أمكن التحقق من أن سلاسل اليورانيوم والثوريوم والأكتينيوم كانت تنتهي بنظائر الرصاص المستقرة التي تتميز

بالأعداد الكتلية 206 و208 و 207 على الترتيب. والتي تم تأكيدها تجريبياً بواسطة سودي في عام 1914م.

كانت تلك النظائر الثلاثة الرصاص هي النواتج النهائية للتفكك الإشعاعي لنظائر العناصر الثلاثة اليورانيوم 238، والثوريوم 232، واليورانيوم 235.

والكتلة الذرية للرصاص الطبيعي هي 207.2، وهي مختلفة تماماً عن الرصاص الناتج من أي من سلاسل التفكك الإشعاعي. ويوضح التفكك 14 و15.

سلسلتي تفكك اليورانيوم 238 والثوريوم 232.

إن غالبية الكتل الذرية للعناصر التي عرفت كانت قيمها قريبة من أعداد صحيحة. لكن البعض منها كان مختلفاً بشكل كبير. وعلى سبيل المثال، فقد وجد أن الكتلة الذرية لغاز النيون الخامل هي 20.2. وقد استنتج طومسون أن السبب المحتمل لهذا هو وجود نظيرين للنيون. وكان قد أجرى بعضاً من تجاربه على انحراف أيونات النيون في المجالين الكهربائي والمغناطيسي، وأثبت أن النيون الطبيعي يحوي نظيرين، أحدهما بكتلة تساوي 20 وآخر بكتلة تساوي 22.

وقد أثبتت قياسات أكثر دقة قام بها ف. أستون (1877 – 1945م) أن النيون الطبيعي يحوي 90.51٪ من النيون 20، و27٪ من النيون 21، و9.22٪ من النيون 22. وقد استخدم أستون جهازه، الذي عرف باسم مطياف الكتلة. لإيجاد العدد الكتلي لنظائر العناصر. والحقيقة المذهلة هي أن أستون هو مكتشف 212 نظيراً من المجموع الكلي للنظائر الموجودة في الطبيعة وهي 287 نظيراً. عنصر القصدير له أعلى عدد من النظائر بأعداد كتلية 112 و114 و115 و116 و117 و118 و119 و120 و122 و124.

وهناك عناصر أخرى مثل البريليوم (عدد الكتلي 9)، والصوديوم (عدد الكتلي 23) لا يوجد لها سوى نظير واحد مستقر. وقد أظهر اكتشاف النيوترونات أن نظائر العنصر تتميز بوجود عدد متساوٍ من البروتونات لكنها تختلف في عدد نيوتروناتها.

ومثال ذلك، القصدير، حيث أن عدد البروتونات فيه (وبالتالي عدد الإلكترونات) هو 50، و عدد النيوترونات هو 62 و64 و65 و66 و 67 و68 و69 و70 و72 و74. إضافة إلى ذلك، فقد تم التعرف على عدد من النظائر المشعة لعدد من العناصر حيث وصل عدد هذه النظائر إلى حوالي 1500 نظير.

وباكتشاف النظائر، أصبح ضرورياً أن يتم تعريف الكتلة الذرية منسوبة إلى أحد هذه النظائر وفي عام 1962م. اعتمدت الكتلة الذرية للكربون 12 على أنها 12 وحدة كتلة ذرية. وعرفت بعد ذلك جميع الكتل الذرية منسوبة إلى هذه الوحدة.

ويمكن إيجاد قيمة وحدة الكتلة الذرية بقسمة كتلة ذرة الكربون 12 على عدد 12 وعلى ذلك فإن كتلة بعض الجسيمات الأساسية هي كالتالي:

وحدة كتلة ذرية (و. ك. ذ) = 1.660566×10^{-24} غم

كتلة البروتون = 1.007277 و. ك. ذ

كتلة النيوترون = 1.000568 و. ك. ذ

كتلة الإلكترون = 0.000549 و. ك. ذ

وقد وضعت أيضاً رموز لكل من العدد الذري (Z) والعدد الكتلي (A) لكل عنصر بحيث يكتب بالشكل $\overset{A}{\underset{Z}{X}}$ وبناءً عليه، فإن $^{212}_{50}Sn$ و $^{214}_{50}Sn$ ....إلخ، تمثل نظائر القصدير بحيث يمثل الرقم العلوي العدد الكتلي، والرقم السفلي العدد الذري.

التفاعلات النووية Nuclear Reactions :

إن تفكك العناصر المشعة هو عملية نووية تلقائية، ويعود تاريخ التفاعلات النووية معملياً إلى عام 1919م. عندما قام رذرفورد بقصف النيتروجين لجسيمات ألفا (α) الذي نتج عنه تكون البروتونات إضافة إلى الأوكسجين.

وبحلول عام 1924م، أوضح رذرفورد تجريبياً أن جسيمات ألفا يمكنها أن تطرد البروتونات خارجاً من كثير من العناصر وصولاً إلى البوتاسيوم. لقد قاد تفاعل جسيمات ألفا مع البريليوم فيما بعد إلى اكتشاف النيوترونات. ومن جهة أخرى، لم يكن ممكناً الحصول على تفاعلات من هذا النوع مع عناصر أثقل وذلك لأنها تحمل شحنة كهربائية عالية في نواها. وبالتالي تكون قوى التنافر الكهربائي بين جسيم ألفا والنواة أعلى بكثير من طاقة ألفا (التي تبلغ حوالي 5م. إ. ف). التي يتم الحصول عليها من المصادر الطبيعية (الراديوم والبولونيوم...إلخ).

وفي عام 1934م. قام الزوجان كيوري بقصف الألومنيوم (^{27}AL) بجسيمات ألفا ولاحظا حدوث انبعاث نيوترونات مصحوباً بتكون نظير مشع جديد هو الفوسفور 30 (^{30}P) ولقد أحدث اكتشاف النشاط الإشعاعي الصناعي ابتهاجاً وإثارة في الأوساط العلمية.

وللتغلب على الحاجز الكهربائي، كان العلماء قد بدأوا العمل على تطوير أجهزة لإنتاج جسيمات مشحونة ذات طاقة عالية. حيث أنشأ جوف كوكروفت (J. Cockroft 1897 – 1967م) وإرنست والتن (E. Walton 1903 – 1930) معجلاً الكتروستاتيكياً. وفي نفس العام تقريباً صمم إرنست لورنس (E. Lawrence 1901 – 1958) معجلاً خاصاً سماه السيلكترون. وكلا هذين الجهازين كانا يستخدمان لتعجيل البروتونات وجسيمات ألفا لطاقات عالية لدراسة التفاعلات النووية.

لقد أضاف اكتشاف النيوترونات فصلاً تخصصياً جديداً في مجال العلوم النووية. وبسبب أن النيوترونات جسيمات غير مشحونة كهربياً. فإنها لن تتنافر مع النواة وستحدث تفاعلات نووية مع معظم العناصر والنظائر. وقد تمكن إنريكو فيرمي (E. Fermi 1901 – 1954م) حينئذ بسهولة من تصنيع مصدر نيوتروني بواسطة مسحوق شديد النعومة من خليط البريليوم والراديوم في انبوبة مغلقة. وقد أمكن توليد مليون نيوترون في الثانية من هذا المصدر.

وبحلول عام 1934م. اكتشف فيرمي أن إبطاء أو تهدئة النيوترونات باستخدام الشمع أو الماء أدى إلى تحسين احتمالية تفاعل النيوترونات مع المواد.

وكان هذا تماماً عكس ما لوحظ بالنسبة لجسيمات ألفا. وقد بدأ فيرمي بقصف عدد من الفلزات بما فيها اليورانيوم، بالنيوترونات على أمل الحصول على عناصر جديدة، وخاصة العناصر الأثقل من اليورانيوم. وفي العام 1935م، نجح فيرمي وزملاؤه في تحويل عنصر البلاتين إلى الذهب وفق التفاعل النووي التالي:

$$^{198}_{78}Pt + n \longrightarrow ^{199}_{78}Pt + y$$

$$^{199}_{78}Pt \xrightarrow{31\,min} ^{199}_{79}Au + \beta^-$$

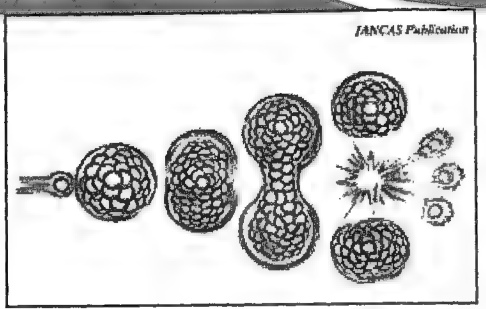
وعلى ذلك، فإنه من الممكن إنتاج عنصر ذي عدد ذري (Z) أعلى باستخدام تفاعلات محدثة بالنيوترونات.

وفي عام 1937م. قام بيريير وسيجري بتوظيف تفاعل مشابه استخدما فيه عنصر المولبدينيوم Mo (Z = 42) مع النيوترونات مما أدى إلى اكتشاف أول عنصر صناعي وهو التكنيشيوم (Tc) (Z = 43). وعندما استخدم فيرمي وزملاؤه النيوترونات لقصف اليورانيوم. كانت النتيجة مربكة بشكل كبير.

إن امتصاص النيوترون بوساطة اليورانيوم أدى إلى توليد جسيمات بيتا بأربع طاقات مختلفة وبما أن انبعاث جسيمات بيتا يضمن زيادة في شحنة النواة بمقدار وحدة الشحنات فقد اقترح فيرمي ومشاركون آخرون إنتاج العنصر رقم 93 في الترتيب الدوري للعناصر الأعلى من اليورانيوم. وحصل الفيزيائيون

الآخرون، الذين كرروا تجربة فيرمي على نواتج تبعث نوعاً من جسيمات بيتا لكنهم لم يتمكنوا من تفسير آلية التفاعل الذي حدث من هؤلاء الذين انشغلوا بهذه القضية أ. هان (O. Hahn 1879 – 1968م) و ل. ميتنر (L. Meitner 1878 – 1968م)، اللذان كانا يحاولان كيميائياً كشف هوية نواتج ذلك التفاعل. وقد لاحظا أن جزءاً من النشاط الإشعاعي سببه عنصر شبيه بالباريوم والراديوم (Z = 88) هو عنصر معروف بتشابهه كيميائياً مع الباريوم، وكان يعتقد أن النيوترونات ربما هي التي سببت انبعاث جسيمي ألفا من اليورانيوم مما أدى إلى تكون الراديوم.

بعد ذلك قام هان وأحد طلبته وهو ف. ستراسمان بإجراء تجارب دقيقة وذلك لمحاولة فصل الباريوم عن الراديوم المفترض ولكنهما لم ينجحا في ذلك. عندها خطرت لهما فكرة أن الناتج ربما يكون هو الباريوم نفسه. وهذا يعني أن نواة اليورانيوم قد انشطرت بواسطة النيوترون البطيء إلى قسمين أحدهما الباريوم. وأكدا هذا الأمر عن طريق التبلور الجزئي للباريوم والراديوم حيث كانت مفاجأتهما حين وجدا أن النشاط الإشعاعي كان منبعثاً من الباريوم. وقام هان وستراسمان بنشر هذه النتائج في يناير عام 1939م وأبلغا ميتنر بهذا الخبر المذهل حيث كانت في كوبنهاجن في ذلك الوقت. وقد ناقشت هذا الأمر مع قريبها أ. فريش (O. Frisch) وافترضت أن نواة اليورانيوم حين تنفلق إلى فلقتين فإن هاتين الفلقتين تكونان متساويتين في الكتلة تقريباً كما هو مبين في الشكل التالي. وسميت هذه العملية الانشطار، تماماً كما يحدث في انقسام الخلية الحية. وإذا افترض أن أحد النواتج هو الباريوم (Z = 56)، فإن الآخر سيكون حتماً هو الكريبتون (Z = 36) وقد تم نشر هذه الايضاحات أيضاً في يناير من عام 1939م.



شكل16 انشطار نواة اليورانيوم 235

مواد المفاعلات النووية Materials for Nuclear Reactions:

المفاعل النووي هو أداة تسمح بحدوث تفاعل انشطار تسلسلي يمكن التحكم به بطريقة يتم بها إنتاج الطاقة أو النيوتونات للأغراض البحثية أو لإنتاج النظائر والمواد الأساسية في المفاعل النووي هي:

1. الوقود النووي الذي يحافظ على استمرار تفاعل الانشطار التسلسلي.
2. المهدئ، وذلك لتهدئة وتبطئة النيوترونات السريعة لتحسين احتمالية حدوث التفاعل الإنشطاري.
3. الغلاف الذي يحوي أقراص أو قضبان الوقود بحيث تبقى نواتج الانشطار النشطة إشعاعياً حبيسة تفادياً لانطلاقها للبيئة.
4. المُبرد، وذلك لامتصاص الحرارة الناتجة عن التفاعل النووي.
5. عناصر التحكم، وذلك لامتصاص النيوترونات والتحكم في معدل حدوث الانشطار التسلسلي.

مواد الوقود Fuel Materials:

يوجد الوقود النووي في قلب المفاعل. ويجب أن يُعطي الوقود الاهتمام الكافي عند تصميمه، بحيث يضمن هذا التصميم عدم إخفاق الوقود خلال سنة أو سنتين من وجوده في المفاعل. ومعظم الطاقة في المفاعل النووي يتم إنتاجها بواسطة انشطار اليورانيوم 235 أو البلوتونيوم 239، وخلال عملية إنتاج الطاقة فإن نسبة تتراوح بين 0.5 إلى 10٪ من اليورانيوم أو البلوتونيوم هي التي تخضع للانشطار (يعتمد هذا على درجة الإثراء) ويُغَلّق الوقود بمواد خاصة وذلك لمنع نواتج الانشطار من الوصول إلى نظام التبريد. ويمكن ضمان التوافق بين مادتي الوقود والتغليف سواء من الناحية الفيزيائية أو الكيميائية وذلك بالاختيار الموفق لهاتين المادتين. وفي معظم المفاعلات في الوقت الحاضر فإن أكسيد اليورانيوم أو فلز اليورانيوم هما المادتان المستخدمتان كوقود. والهدف الرئيس من تصميم الوقود هو استخلاص أقصى قدرة وكذلك أقصى طاقة من الوقود دون إخفاق وقد ضمنت التصاميم الحالية للوقود النووي عدم إمكانية حدوث إخفاق كلي للوقود. مع بذل الجهود المستمرة لخفض احتمال حدوث أي خلل ثانوي يمكن أن يحدث في أقل من 0.05٪ من قضبان الوقود.

ويسمى معدل استخلاص الطاقة من الوقود بالقدرة النوعية لذلك الوقود. وتقاس القدرة النوعية بدلالة الميجاوات من الطاقة الحرارية (Mwt) الناتجة لكل طن من الوقود. وعلى ذلك فإن القدرة النوعية هي مقياس كذلك لكمية الوقود المستخدم في مفاعل ما. وتصنع عناصر الوقود عادة على شكل قضبان اسطوانية بحيث تنتج الطاقة الانشطارية من خلال مقاطعها العرضية. ويعتمد معدل إنتاج الطاقة على كثافة الوقود وعلى تركيز الذرات الانشطارية. ويتم استخلاص الطاقة الناتجة من الوقود بواسطة المبرد وذلك عن طريق السطح الخارجي لمادة التغليف.

وبرغم أنه يتم تبريد سطح عنصر الوقود. إلا أن الجزء الداخلي أو مركز العنصر يبقى ساخناً. ويتطلب تصميم الوقود ضمان عدم انصهار القلب أو تغير طوره أثناء إنتاج الطاقة وذلك لأن تغير الطور يمكن، في بعض الأحيان، أن يسبب ضغطاً على أنبوبة مادة التغليف. هذا يشبه إلى حد كبير ما نواجهه في حياتنا اليومية حيث تترك زجاجة شراب بارد في منطقة التجميد في الثلاجة المنزلية مما يؤدي إلى تكون الثلج حولها ومن ثم حدوث شرخ في جدران الزجاجة. ولأن الجزء المركزي للوقود هو الأكثر حرارة، فإن درجة حرارته يجب أن تبقى دون درجة الانصهار أو درجات التحولات الطورية للوقود.

مواد التهدئة:

من المعروف أن النيوترونات الحرارية هي أكثر فعالية في حفظ تفاعل الانشطار التسلسلي وتتم التهدئة باستخدام مهدئات تقوم بتبطئة النيوترونات بواسطة التصادمات المرنة بين النيوترونات ونوى المواد المهدئة.

والمهدئات ذات الذرات صغيرة الكتلة هي الأكثر كفاءة، بشرط أن لا تمتص فيها النيوترونات أثناء عملية التهدئة. والمهدئات الأكثر استخداماً في المفاعلات النووية هي الماء الخفيف (H_2O، أي الماء الطبيعي)، والماء الثقيل (D_2O). والجرافيت وتتطلب تهدئة نيوترونات الانشطار، التي تنطلق غالباً بطاقة 1 م. إ. ف. إلى مستوى الطاقة الحرارية (0.025 إ. ف) 18 تصادماً مع ذرات الهيدروجين، أو 24 تصادماً مع ذرات الديتيريوم، أو 111 تصادماً مع ذرات الكربون (الجرافيت).

ورغم أن الماء الخفيف فعال جداً في تهدئة النيوترونات، إلا أنه ليس أفضل المهدئات وذلك نظراً لأن لديه شراهة لامتصاص النيوترون أعلى منها في المهدئات الأخرى.

(σ_a =0.33b) ولهذا السبب، فإن الماء الطبيعي غير ملائم في حالة مفاعلات وقود اليورانيوم الطبيعي. وفي المقابل، فإن الديتيريوم (σ_a =0.0005b)، والكربون (σ_a =0.003b) يمكن استخدامها كمهدئين مع وقود اليورانيوم الطبيعي أما البريليوم (σ_a =0.0095b) فإنه أيضاً مهدئ جيد لكن سميته تحد من استخدامه بشكل واسع.

مواد التغليف:

يُغَلَّف الوقود النووي، سواءً كان في صورة فلز اليورانيوم (على شكل قضبان) أو اكسيد اليورانيوم (على شكل حبيبات)، بأنابيب فلزية من مادة تغليف مناسبة. والخصائص التي يجب أن تتوفر في مادة التغليف هي:

1. المتانة العالية.
2. التوافق الكيميائي الجيد مع الوقود ومع مادة التبريد.
3. احتمالية (مقطع عرضي) منخفض لامتصاص النيوترون.

وفي مفاعلات الأبحاث، تستخدم سبائك الألومنيوم كمواد تغليف للوقود. أما في مفاعلات القدرة، فإنه يستخدم لهذا الغرض، وبشكل واسع، سبائك المغنيسيوم (ماغنوكس) والزركونيوم (سبيكة الزركونيوم 2 أو 4). وبرغم أن احتمالية امتصاص النيوترون في الفولاذ المقاوم للصدأ تعد عالية نسبياً (σ_a =2.7b) فإنه قد استخدام أيضاً كمادة تغليف وخاصة عندما تكون حرارة تشغيل الوقود أعلى من 350°م.

مواد التبريد:

يجب أن يتوفر في مواد التبريد ما يلي:

1. أن تكون ذات سعة حرارية كافية للتخلص من الحرارة.

2. أن تكون متوافقة كيميائياً مع مادة الوقود ومادة التغليف ومواد البناء المستخدمة.

3. أن تكون ذات مقاطع عرضية منخفضة لامتصاص النيوترون.

وقد استخدم كل من الهيليوم وثاني أكسيد الكربون كمبردين غازيين. وعند استخدام الماء الخفيف كمهدي، فإنه غالباً ما يكون هو المبرد برغم أنه يستخدم كمبرد أيضاً مع المهدئات الأخرى. وبطريقة مماثلة فإن الماء الثقيل يعمل كمبرد في عدد كبير من مفاعلات القدرة. وفي المفاعلات التي تعمل عند درجات حرارة مرتفعة (أعلى من 350°م). فإنه يستخدم لهذا الغرض فلز الصوديوم السائل وذلك عندما لا يكون هناك حاجة إلى التهدئة.

مواد التحكم:

في معظم المفاعلات لا يمكن استبدال الوقود أثناء استهلاكه. وبالتالي فإن كل دورة تشغيل للمفاعل تبدأ بكمية وقود تزيد بحوالي 30٪ أكثر على الكمية اللازمة للمرحلة الحرجة الابتدائية. وفي غياب عملية تحكم ملائمة. فإن الزيادة قد تؤدي إلى مستويات قدرة غير مقبولة. وعملية التحكم هذه تتم بواسطة قضبان تحوي مواد ماصة للنيوترونات. وبهذا يتم التحكم بقدرة المفاعل ويمكن أيضاً بواسطتها إطفاء المفاعل. وتحوي القضبان عادة مادة البورون ($\sigma_a = 759b$) أو الكادميوم ($\sigma_a = 2450b$). ويستخدم البورون غالباً على شكل كربيد البورون (boron carbide)، أما الكادميوم، فيتم استخدامه على شكل فلز أو على شكل سبيكة مكونة من الفضة والكادميوم والأنديوم (Ag – 15% Cd – 5% In) ويستخدم أيضاً الهافنيوم ($\sigma_a = 105b$)وذلك على شكل فلز. وعندما يراد تشغيل المفاعل فإن هذه القضبان تسحب بعيداً وبذلك يبدأ التفاعل التسلسلي وتزيد القدرة.

تاريخ المفاعلات:

اكتشفت إمكانية إعداد نظام لتفاعل انشطار تسلسلي بواسطة جوليت كيوري وعدد من المعاونين، وذلك عام 1940م وباستخدام فلز يورانيوم كوقود، وماء خفيف وثقيل كمهدئات. وعلى كل حال فإن هذه الدراسة توقفت عام 1940م بسبب سيطرة الجيش الألماني على باريس. في الوقت ذاته كان فريتش في المملكة المتحدة قد توقع أنه من الممكن ضع قنبلة نووية باستخدام يورانيوم 235 ولتحقيق توقعات فريتش فقد شكلت الحكومة البريطانية لجنة لهذا الغرض ونشر إثر ذلك تقريراً في يوليه 1941م أكد إمكانية صنع القنبلة النووية.

وقد تنبأ التقرير أيضاً بإمكانية استخدام الطاقة النووية لإنتاج الكهرباء ولإنتاج العنصر الانشطار البلوتونيوم 239 من اليورانيوم 238.

إن الجهد الكبير والأهم الذي بذل في الولايات المتحدة هو الذي شجع على دراسة ظاهرة الانشطار النووي، حيث كان فيرمي وفريقه يخططون لبناء منشأة لتمثيل تفاعل الانشطار التسلسلي عملياً. وقرر هؤلاء استخدام الجرافيت كمهدئ وأكسيد اليورانيوم كوقود. حيث أن فلز اليورانيوم عالي النقاوة لم يكن متاحاً في المراحل المبكرة. وتم لهذا الغرض إنشاء حوالي 30 مجمعاً صغيراً للحصول حينئذ على المعلومات الضرورية اللازمة لبناء المفاعل.

وقد صنع البناء النهائي من قوالب جرافيت تم اعدادها بثقوب مناسبة لاحتواء مكورات أكسيد اليورانيوم ذات القطر 3.25 بوصة. وقد حضرت عدة أطنان من قوالب فلز اليورانيوم عالي النقاوة كي يتم بناء المفاعل. للتحكم في التفاعل الانشطاري التسلسلي فقد تم استخدام الكادميوم. وبواسطة هذا المفاعل، أمكن تحقيق التفاعل الانشطاري التسلسلي المتسمر في 2 ديسمبر 1942م. كانت قدرة المفاعل حوالي 200 واط. وعلى ذلك لم يكن هناك ضرورة للتبريد. وأول تطبيق للتفاعل الانشطاري التسلسلي الدائم كان إنتاج البلوتونيوم.

وأول مفاعل بني لهذا الغرض كان في معمل أوكرج الوطني بأمريكا في شهر نوفمبر 1943م، حيث استخدم فيه 35 طن فلز اليورانيوم كوقود وتم إنتاج 3.8 ميجا واط حرارة. وتم تبريد المفاعل بواسطة الهواء.

وأمكن إنتاج حوالي 4 جرام من البلوتونيوم يومياً بواسطة هذا المفاعل. تلا ذلك بناء عدد من المفاعلات لإنتاج البلوتونيوم في مواقع مختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة وفرنسا وكذلك في الإتحاد السوفيتي (سابقاً).

وعقب الحرب العالمية الثانية اتجهت تقنية المفاعلات إلى تطوير مفاعلات تستخدم لتطبيقات أخرى. ففي عام 1953م دشنت الولايات المتحدة الأمريكية غواصه تعمل بالطاقة النووية سمِّيت نوتلس "Nautilus". وفي موسكو، بدأ تشغيل أول مفاعل لإنتاج الكهرباء وكان ذلك في 1954م. كان ذلك المفاعل بقدره 5 ميجاوات كهرباء. وقد استخدم فيه أكسيد اليورانيوم كوقود. والجرافيت كمهدئ، والماء كمبرد.

وأول مفاعل أمكن من خلاله تأمين الكهرباء للتطبيقات التجارية هو المفاعل الذي بُني في المملكة المتحدة في أغسطس 1956م. وكان هذا المفاعل بقدرة 50 ميجا واط كهرباء، واستخدم فيه فلز اليورانيوم كوقود، والجرافيت كمهدئ، وثاني أوكسيد الكربون كمبرد.

وعلى كل حال، فإن الهدف الرئيس من ذلك المفاعل كان إنتاج البلوتونيوم اللازم للبرامج العسكرية. أما أول مفاعل خصص للتطبيقات المدنية المجردة فقد بني في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1957م في شبنج بورت (shipping port). وكان ذلك المفاعل بقدرة 20 ميجا واط كهرباء، واستخدم فيه اكسيد اليورانيوم كوقود، والماء الخفيف كمهدئ وكذلك كمبرد. أما استخدام المفاعلات النووية في تسيير السفن فقد بدأه الاتحاد السوفيتي (سابقاً) عام 1959م بتدشين محطمة الجليد لينين (Lenin) التي كانت تعمل بثلاثة مفاعلات بقدرة 90 ميجا واط كهرباء

لكل منها. وفي الوقت الحاضر، فإنه من بين العدد الكبير من المفاعلات التي تعمل في شتى أنحاء العالم يستخدم 600 مفاعل لتسيير السفن والغواصات، وحوالي 350 مفاعلاً في الأبحاث وفي إنتاج النظائر المشعة.

ويعمل حالياً أكثر من 400 مفاعلاً في عدد من الدول لإنتاج حوالي 18٪ من كهرباء العالم كما هو مبين في الجدول (1). ويوضح الشكل ادناه النسبة المئوية للكهرباء المنتجة بواسطة مفاعلات القوى النووية في بعض دول العالم. ويعطي الجدول (2) كثافة مفاعلات القوى النووية بدلالة Mwe/km^2 لعدد من الدول. يتضح من الجدول أنه في كثير من الدول تصل الكثافة إلى 0.09 ميجا واط كهرباء أو أكثر لكل كيلو متر مربع من الأرض.

جدول (1)

المفاعلات النووية في العالم وقدراتها

الدولة	نوع المفاعل	القدرة الكهربائية (ميجا وات كهرباء)	نسبة الكهرباء من الطاقة النووية (٪)
بلجيكا	7 PWR	5527	58.9
بلغاريا	6 PWR	3538	36.9
كندا	22 PHWR	15755	17.3
الصين	2PWR	1194	0.3
فنلندا	2PWR, 2BWR	2310	32.9
فرنسا	54 PWR, 1 GCR, 2FBR	59033	77.7
ألمانيا	14 PWR, 7BWR	22657	29.7
المجر	4 PWR	1729	43.3
الهند	2 BWR, 7 PHWR	1593	1.9
اليابان	21PWR, 25BWR, 1GCR, 1HWLWR	38029	30.9
جمهورية كوريا	8PWR, 1PHWR	7220	40.3
لثوانيا	2 LWGR	2370	87.2

الدولة	نوع المفاعل	القدرة الكهربائية (ميجا وات كهرباء)	نسبة الكهرباء من الطاقة النووية (٪)
روسيا	13 PWR, 15 LWGR, 1 FBR	19843	12.5
إسبانيا	7 PWR, 2 BWR	7105	36.0
السويد	2 PWR, 9 BWR	10002	42.0
سويسرا	3 PWR, 2 BWR	2985	37.9
بريطانيا	20GCR, 14 ACR, 1 FBR	11909	26.3
أوكرانيا	12 PWR, 3 LWGR	12679	32.9
أمريكا	72 PWR, 37 BWR	98784	21.2
المجموع بما فيه الدول الأخرى	243 PWR, 92 BWR, 22 GCR, 14 AGR, 33 PHWR 20 LWGR 5 FBR, 1 OTHER	337820	18

جدول (2)

الطاقة النووية في عدد من الدول

الدولة	المساحة كم^2	ميجا واط كهرباء	ميجا واط كهرباء لكل كلم^2
بلجيكا	30.507	5.527	0.181
كندا	9.976.185	15.755	0.0015
فرنسا	551.607	59.033	0.107
ألمانيا	248.414	22.657	0.091
اليابان	369.642	38.029	0.102
كوريا الجنوبية	60.800	7.220	0.119
تايوان	22.200	4.890	0.220
بريطانيا	150.700	11.909	0.079
أمريكا	9.363.399	98.784	0.010
الهند (2000)	3.183.666	5.000	0.0015
الهند (مدى طويل)	3.183.666	300.000	0.094

مفاعلات القوى:

يمكن تصنيف المفاعلات حسب استخدامها وحسب طاقة النيوترونات، وكذلك بناءاً على نظام التبريد والتهدئة المستخدم. والمفاعلات التي تستخدم للدراسات والبحوث النيوترونية أو لإنتاج النظائر تسمى مفاعلات الأبحاث. هذا النوع من المفاعلات يكون بسيطاً في تصميمه مقارنة بمفاعلات القوى التي تستخدم لإنتاج الكهرباء. وعند استخدام مهدئ لتهدئة النيوترونات للسرعات الحرارية. فإن المفاعلات هنا تسمى المفاعلات الحرارية. أما عندما يستخدم تركيز ملائم من النظير الانشطاري في وقود المفاعل دون الحاجة للتهدئة، فإن المفاعلات هنا تسمى المفاعلات السريعة نظراً لحدوث الانشطار بالنيوترونات السريعة.

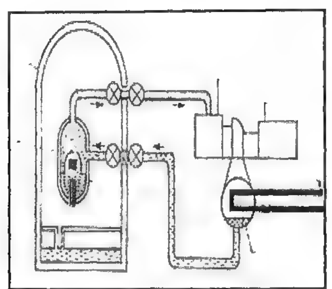
تصنف مفاعلات القوى غالباً بناءً على نوع المبرد المستخدم. وفيما يلي بعض الأنماط البارزة من المفاعلات التي تعمل حالياً في العالم لإنتاج الكهرباء مع بيان قدراتها الكهربائية الصافية:-

1. مفاعلات الماء المغلي (BWR) 75555 ميجاوات كهرباء.
2. مفاعلات الماء المضغوط (PWP) 213733 ميجاوات كهرباء.
3. مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR) 18737 ميجاوات كهرباء.
4. مفاعلات الماء الخفيف المهدأ بالجرافيت (LWGR) 14965 ميجاوات كهرباء.
5. المفاعلات المبردة بالغاز (GCR) 4059 ميجاوات كهرباء.
6. المفاعلات المتطورة المبردة بالغاز (AGR) 8315 ميجاوات كهرباء.
7. المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة بالغاز (HTGR) غير موجودة حالياً.
8. المفاعلات الولودة السريعة المبردة بالفلز السائل (LMFBR) 2297 ميجاوات كهرباء.

وتتطلب المفاعلات التي تستخدم الماء الخفيف كمهدئ أو مبرد إثراء اليورانيوم، وذلك مثل مفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء الخفيف المهدأ بالجرافيت (BWR وPWR وLWGR). وبالطريقة نفسها، إذا كانت مادة التغليف المستخدمة تمتص النيوترونات. فإن إثراء اليورانيوم يصبح لازماً، كما في حالة المفاعلات المتطورة المبردة بالغاز (AGR).

ويستخدم أكسيد اليورانيوم كوقود في مفاعلات الماء المغلي بحيث تكون نسبة اليورانيوم 235 من 1.5 إلى 3٪، وتستخدم سبيكة الزركونيوم لغرض التغليف ويحاط المفاعل بوعاء من الفولاذ القوي غير القابل للصدأ. كما أن الماء المنساب خلال المفاعل يستخدم كمبرد وفي الوقت نفسه كمهدئ ويكون مضغوطاً حتى 70 ضغط جوي، وذلك ليحصل الغليان عند 285 درجة مئوية. ويتم تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية بفعالية جيدة بواسطة العنفات.

وتصل القدرة الإجمالية لمثل هذا النوع من المفاعلات في العالم إلى حوالي 75555 ميجا واط كهرباء ويبين الشكل التالي مخططاً توضيحياً لمفاعلات الماء المغلي.



شكل 18 مفاعل الماء المغلي

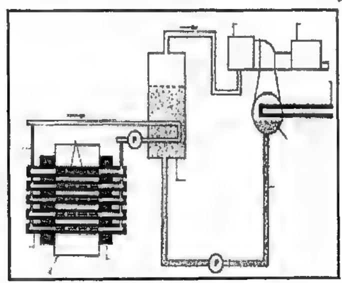
وتتشابه كل من مفاعلات الماء المضغوط مع مفاعلات الماء المغلي من حيث الوقود وكذلك من حيث التغليف ولكن الضغط داخل مفاعل الماء المضغوط يكون عند حوالي 145 ضغطاً جوياً، بحيث لا يغلي الماء حتى مع الوصول إلى حرارة 310 درجة مئوية. وعلى ذلك، فإن وعاء المفاعل في مفاعلات الماء المضغوط يجب أن يكون أمتن منه في مفاعلات الماء المغلي. يُنقل هذا الماء عالي الحرارة إلى المبادل الحراري وذلك لإنتاج البخار ومن ثم يعاد إلى المفاعل. ويستخدم البخار الناتج في المبادل الحراري لإنتاج الكهرباء. ومفاعلات الماء المضغوط هي الأكثر شيوعاً في العالم. وتصل القدرة الإجمالية الحالية لهذه المفاعلات في العالم إلى 213733 ميجا واط كهرباء.

يقوم مفاعل الماء الثقيل المضغوط على استخدام وقود أكسيد اليورانيوم الطبيعي مع سبيكة الزركونيوم كمادة تغليف، وخلاف النوعين المذكورين في

الفقرات السابقة، فإن هذا النوع لا يستخدم فيه وعاء ضغط عال لاحتواء مكونات لب المفاعل.

بل بدلاً من ذلك، فإن الوقود يتم احتواؤه في عدد من أنابيب الضغط التي يتم تركيبها في وعاء كبير يدعى كالاندريا (Calandria).

ويتم ملء الوعاء بالماء الثقيل المستخدم للتهدئة ويحفظ بارداً (أقل من 85 درجة مئوية) وتركب قضبان التحكم في الوعاء. ويأخذ الماء الثقيل المستخدم لتبريد الوقود دورته خلال أنابيب الضغط وذلك تحت ضغط 85 ضغط جوي وعند درجة حرارة حوالي 300 درجة مئوية ويبين الشكل الآتي صورة تخطيطية لمثل هذا المفاعل. وتبلغ القدرة الإجمالية لهذا النوع من المفاعلات في العالم 18739 ميجا واط كهرباء.



مفاعل الماء الثقيل المضغوط

أول مفاعل استخدم لإنتاج الكهرباء كان من النوع المبرد بالماء الخفيف والمهدأ بالجرافيت وقد كان موجوداً في الاتحاد السوفيتي (سابقاً). وهذا المفاعل ذو أنبوب ضغط كمفاعل الماء الثقيل المضغوط ولكن الأنبوب هنا رأسي. وقد استخدم في ذلك المفاعل اكسيد اليورانيوم كوقود بنسبة إثراء بين 1.5 و2٪، واستخدم الزركونيوم كمادة تغليف. ويتكون المهدئ من قوالب مستطيلة

مصفوفة من الجرافيت، في حين يستخدم الماء المنساب خلال أنابيب الضغط كمبرد للمفاعل. يستخدم هذا المبدأ فقط في الاتحاد السوفيتي (سابقاً). وتصل القدرة الإجمالية المشغلة حالياً لهذا النوع من المفاعلات إلى حوالي 14965 ميجا واط كهرباء.

ولقد كان مفاعل حادث تشير نوبل الشهير من هذا النوع وهذا المفاعل، رغم تشغيله بنجاح كبير في الاتحاد السوفيتي (سابقاً) ولسنوات عديدة. فقد كان ذا مواصفات غير آمنة ولم يكن ليرخص له بالعمل في عديد من الدول.

وقد تم تطوير المفاعلات المبردة بالغاز في المملكة المتحدة وفي فرنسا على ضوء خبرتهما في مفاعلات إنتاج البلوتونيوم. ويستخدم فيه هذه الفكرة فلز اليورانيوم الطبيعي المغلف بالماجنوكس (سبيكة المغنيسيوم) كوقود للمفاعل. وعلى ذلك فإن هذه المفاعلات تسمى أحياناً مفاعلات الماجنوكس. وللتهدئة في هذه المفاعلات يستخدم الجرافيت، وللتبريد يستخدم غاز ثاني أوكسيد الكربون. وتصل درجة حرارة المبرد في المتوسط إلى 400 درجة مئوية. ويصل الضغط إلى حوالي 20 ضغط جوي. وتصل القدرة الإجمالية الحالية لهذا النوع من المفاعلات في العالم إلى 4059 ميجا واط كهرباء.

وقد طورت المملكة المتحدة المفاعل المتقدم المبرد بالغاز للاستفادة من فكرة المفاعلات المبردة بالغاز. وفي هذا المفاعل يستخدم الجرافيت كمهدئ وغاز ثاني أوكسيد الكربون كمبرد. ويكون الوقود على شكل حبيبات من ثاني أوكسيد اليورانيوم المحتوية يورانيوم 235 بنسبة من 1.2 إلى 2.3٪ موضوعة في أنابيب من الفولاذ غير القابل للصدأ. وتصل درجة الحرارة عند مخرج غاز التبريد للمفاعل إلى 650 درجة مئوية. ويصل الضغط إلى حوالي 40 ضغط جوي. وتستخدم هذه المفاعلات فقط في المملكة المتحدة وتصل قدرتها الإجمالية إلى 8315 ميجا واط كهرباء تقريباً.

يختلف مفاعل الحرارة العالية المبرد بالغاز في فكرته عن المفاعلات الأخرى في أنه لا يستخدم التغليف الفلزي المعتاد للوقود. فالوقود يكون على شكل كريات صغيرة جداً (بقطر 0.2مم) من C2 (Th وU) أو O2 (Th، U) التي تكون مغطاة بطبقات من الجرافيت وكربيد السيليكون كنوع من التغليف. وتخلط هذه الكريات مع الكربون وتدرج في وقود المفاعل بالشكل المرغوب فيه. ويستعمل الجرافيت والهيليوم كمهدئ وكمبرد على الترتيب. وتكون درجة إثراء اليورانيوم في حدود 20 إلى 90٪ وتصل درجة الحرارة عند مخرج الهيليوم إلى 740 درجة مئوية، ويصل الضغط إلى 50 ضغط جوي. وتم تشغيل مفاعلين فقط، من هذا النوع في العالم: الأول في الولايات المتحدة الأمريكية بقدرة 330 ميجا واط كهرباء. والثاني في ألمانيا بقدرة 300 ميجا واط كهرباء، وكلاهما من مفاعلات القوى.

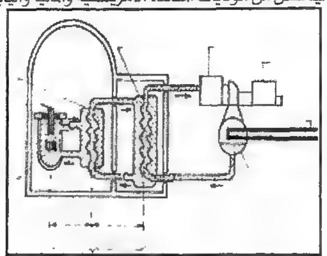
وتستند المفاعلات الولودة السريعة المبردة بالفلز المنصهر إلى استخدام النيوترونات السريعة وعلى ذلك فلا ضرورة هنا لوجود مهدئ. واستخدام النيوترونات السريعة يسمح بفعالية أكبر لتحويل اليورانيوم 238 إلى بلوتونيوم 239. والمفاعلات التي تكون فيها كمية المواد الانشطارية الناتجة اكبر من كمية المواد الانشطارية المستهلكة تسمى المفاعلات المولودة. وحيث أنه لا يستخدم مهدئ في المفاعل، فإن تركيز المواد الانشطارية يجب أن يكون عالياً.

وحالياً، يستخدم خليط من أكسيدي اليورانيوم والبلوتونيوم كوقود بحيث يحوي 25٪ من اكسيد البلوتونيوم. يغلف هذا الوقود بأنابيب من الفولاذ غير القابل للصدأ يتم تبريده بفلز الصوديوم المنصهر. وتصل درجة حرارة المبرد (الصوديوم) إلى 620 درجة مئوية. في حين يصل ضغطه إلى 3 ضغط جوي.

ويحاط مركز التفاعل، الذي يسمى لب أو قلب المفاعل، بعناصر تحوي غطاءً من ثاني أوكسيد اليورانيوم (UO_2) وذلك للحصول على البلوتونيوم بشكل فعال. ويعرض الشكل التالي مخططاً لهذا المفاعل.

هناك ثلاثة دول تملك هذا النوع من مفاعلات القوى وهي؛ فرنسا (بقدرات 250 و1200 ميجا واط كهرباء) والمملكة المتحدة (بقدرة 250 ميجا واط كهرباء)

والاتحاد السوفيتي (سابقاً) (300 و600 ميجا واط كهرباء). وما زالت الأبحاث في هذا المجال قائمة في كل من الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا واليابان والهند.



مفاعل مولود سريع مبرد بالفلز المنصهر

خواص الأمان اللازمة للمفاعلات:

يجب أن تعمل قضبان التحكم في مفاعلات القوى بشكل مستمر، وذلك لاستمرار تولد الطاقة حسب الطلب على الكهرباء، أو التعويض استنزاف النظائر الانشطارية. ولكي تتم زيادة قدرة المفاعل فإن قضبان التحكم تسحب بشكل يسير من المفاعل.

وحيث أن قدرة المفاعل تنمو بشكل سريع جداً، فإن قضبان التحكم يلزم أن تكون سريعة الاستجابة لضمان التشغيل الآمن للمفاعل. إضافة لذلك فإن المفاعل يصمم بشكل ملائم بحيث أن أية زيادة مفاجئة في القدرة يجب أن تواجه بخواص مكافئة في أنظمة الوقود والمهدئ والمبرد. وعلى ذلك فإن جميع المفاعلات تصمم بحيث تتمتع بمعامل قدرة حرارية سالبة. وهذا يضمن ألا تفقد السيطرة على التفاعل النووي في أي طور من أطوار التشغيل ويضمن كذلك حفظ دوام شروط الأمان.

وأكثر ما يشغل مصممي المفاعلات هو السيطرة على نواتج الانشطار وضمان عدم انتشارها في البيئة المحيطة، وخفض مستوى المنبعث منها للحد الأدنى. وهناك عدد من الحواجز التي تمنع وصول نواتج الانشطار إلى البيئة.

أول هذه الحواجز هي مصفوفة الوقود نفسها. والحاجز الثاني هو مادة تغليف الوقود أما الحاجز الثالث فتمثله الدائرة المغلقة لنظام التبريد والتي تحمل معها عادة نواتج الانشطار النشطة إشعاعياً إلى حوض الماء المستخدم لتبريد الوقود. ويتم توفير الحاجز الرابع بواسطة وعاء أو أنبوب ضغط.

وعند خروج النواتج ذات النشاط الإشعاعي من نطاق وعاء الضغط أو أنابيب الضغط إلى مبني المفاعل فإنها لا تستطيع النفاذ إلى الخارج بسبب أن مبنى المفاعل يكون مصمماً بطريقة محكمة ضد أي تسرب للغازات. ولا يسمح إلا بالتسرب عن طريق منافذ خاضعة للسيطرة وذات ترشيح ملائم. ويكون مبنى المفاعل نفسه محاطاً بمنطقة معزولة تمتد إلى 1.6كم، ومنطقة حماية بنصف قطر 5كم وذلك لتلافي تعرض السكان للإشعاع المنطلق عند أية حادثة تحدث، وهذا الأمر يندر جداً حدوثه. وتوفر منطقة الكيلومترات الخمسة خفضاً في مستوى الإشعاع في حالة انطلاقه.

وعلى ذلك، فإن المفاعل النووي يكون ذا تصميم ملائم من حيث السلامة ليضمن عدم تعرض الجمهور للإشعاع حتى في حالة الحوادث التي يستبعد وقوعها.

وما يتعرض له الإنسان العادي من إشعاع نتيجة التشغيل العادي للمفاعل النووي ما هو إلا جزء ضئيل جداً بالمقارنة بما يتعرض له خلال حياته اليومية من إشعاعات بيئية طبيعية، ففي الساعة الواحدة يتفكك في رئتي الإنسان ما مجموعه 30 ألف ذرة من ذرات الراديوم والبولونيوم والبزموت والرصاص.

كما يخترق أجسادنا 0.4 مليون من الجسيمات الثانوية من الأشعة الكونية، ويتفكك منها ما يقرب من 15 مليون من ذرات البوتاسيوم 40 (^{40}K)، التي هي جزء من محتوى البوتاسيوم الكلي في أجسامنا. إلى جانب ذلك، فإننا نستقبل الإشعاع بشكل مستمر من النظائر الأرضية الطبيعية، ومن الفحوص الطبية وغيرها. والتي لم يعرف أن لها أية آثار ضارة، ومن الخبرة المكتسبة في محطات القوى النووية في تارابور وكوتا ومدراس. وجد أن مساهمة تلك المحطات في رفع الخلفية الإشعاعية في المناطق المجاورة لا يتعدى واحد بالمئة من الخلفية الإشعاعية الطبيعية. وهذا لا يولى اعتبار لأن الخلفية الإشعاعية الطبيعية نفسها يمكن أن تزيد إلى الضعف من مكان إلى آخر.

اليورانيوم

هو أثقل العناصر الموجودة في الطبيعة وهو أحد أكبر مصادر الطاقة للإنسانية. واليورانيوم الطبيعي له ثلاثة نظائر جميعها تتفكك بإنبعاث جسيمات ألفا (α - emission) يشكل اليورانيوم 238 (^{238}U) ذو عمر النصف 4.5 × 10^9 سنة ما نسبته 99.28٪ من اليورانيوم الطبيعي، ويشكل اليورانيوم 235 (^{235}U) ذو عمر النصف 00.7 × 10^8 سنة ما نسبته 0.715٪ من اليورانيوم الطبيعي أما اليورانيوم 234 (^{234}U) ذو عمر النصف 2.35 × 10^5 سنة الناتج من تفكك اليورانيوم 238 فيشكل نسبة بسيطة هي 0.005٪ من اليورانيوم الطبيعي.

اليورانيوم 235 هو المصدر الرئيس للطاقة النووية في معظم المفاعلات الحالية. أما اليورانيوم 238 فتتمثل أهميته في إمكانية تحويله إلى البلوتونيوم 239.

وبسبب اختلاف عمر النصف للنظيرين الرئيسين لليورانيوم فإن الوفرة النسبية لكل منهما تتغير مع الزمن.

اكتشف اليورانيوم بواسطة مارتن كلابروث (Martin Heinrich Klaproth) عام 1789م. وخلال مائة وسبع سنوات من اكتشافه اقتصر استخدامه على إنتاج الزجاج الملون. حيث أمكن إنتاج الزجاج ذي النوعية الجيدة وذي اللون الأصفر أو البني أو الأخضر باستخدام بعض مركبات اليورانيوم.

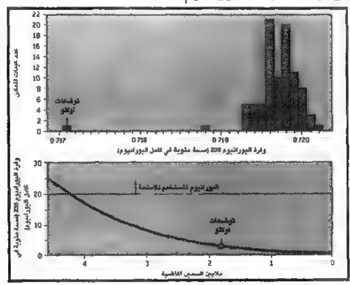
إن اكتشاف النشاط الإشعاعي بواسطة بكريل عام 1896م الذي أدى إلى اكتشاف الانشطار النووي عام 1939م قد غيرّ الصورة بشكل تام. ففي المراحل الأولى لتصميم المفاعل النووي في الولايات المتحدة الأمريكية لم يكن هناك مصدر محلي لليورانيوم لذلك كان اليورانيوم يستورد من الكونغو الأفريقية (المستعمرة حينئذ من بلجيكا) وبعد أن عرف العالم سر الطاقة الذرية بدأ عدد كبير من الدول برامج مكثفة لاكتشاف اليورانيوم. ويوضح الشكل التالي وضع مصادر اليورانيوم في العالم.

مصادر تخمينية SR	مصادر ملموسة PR	مصادر مستنبطة IF	مصادر مؤكدة وبشكل معقول RAR	أقل من 40USS/كجم يورانيوم
		IF	RAR	من 40 إلى 80USS/كجم يورانيوم
	PR	IF	RAR	من 80 إلى 130USS/كجم يورانيوم

تناقص درجة الجذب الاقتصادي ←

تناقص درجة الثقة في التقديرات والبيانات →

واليورانيوم من العناصر الموجودة بنسبة كبيرة في القشرة الأرضية حيث أن وفرته في الأرض أكبر من وفرة الذهب والفضة والزئبق. وتقترب وفرة اليورانيوم في القشرة الأرضية من وفرة الرصاص والقصدير والكوبلت وغيرها. ويوضح الشكل التالي الوفرة النسبية لليورانيوم.



ويوجد اليورانيوم في التركيبات الصخرية بنسبة أكبر من وجوده في الماء. فصخور الجرافيت والفحم تحوي من 3 إلى 4 أجزاء من المليون من اليورانيوم، في حين تحتوي مياه المحيط على جزئين من المليون فقط. وكما هي الحال في العناصر الفلزية الأخرى فاليورانيوم لا يوجد في الطبيعة بشكل حر وإنما يوجد على شكل مركبات من الأكسجين والعناصر الأخرى. وأكاسيد معادن اليورانيوم تحوي خليطاً من ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) وثالث أكسيد اليورانيوم (UO_3). وهنا نتضمن معدن

البتشبلند Pitchblende واليورانايت Uranite، أما معدن الكوفنات Coffinite فهو أحد معادن السليكا واليورانيوم ($U (SiO_4)_{1-x} (OH)_4x$).

أما معدن الكارنوتايت Carnotite فهو فاندات البوتاسيوم يورانيوم (K_2O. Pottassium – uranium vanadate ($2UO_3$. Y_2O_3. $2H_2O$ ومعظم المعادن المحتوية على اليورانيوم يكون محتوى اليورانيوم فيها من 0.1 إلى 1٪، وقد وجدت بعض الترسبات من المعادن التي تحوي ما نسبته 4 إلى 25٪ من اليورانيوم.

كيمياء اليورانيوم:

اليورانيوم هو أحد أعضاء سلسلة الأكتينيدات Actinides التي تحوي 14 عنصراً. حيث أن الغلاف الإلكتروني الخامس والسادس والسابع وكذلك الغليفات الفرعية غير ممتلئة تماماً. ويحوي اليورانيوم في حالته الفلزية 21 إلكتروناً في الغلاف الخامس ($5S^2, 5P^6, 5d^{10}, 5F^3$) و9 إلكترونات في الغلاف السادس ($6S^2, 6P^6, 6d^1$) وإلكترونين في الغلاف السابع ($7S^2$).

وتساهم هذه الإلكترونات في الروابط الكيميائية لليورانيوم، ولهذا فإن له تكافؤات مختلفة تتراوح بين 3^+ و6^+. فاليورانيوم يمكن أن يتحد مع الفلور ليكون UF_3 و UF_4 و UF_5 و UF_6. واليورانيوم الثلاثي التكافؤ يمكن تحضيره في محلول ولكنه غير ثابت، حيث يتفاعل مع الماء وينطلق الهيدروجين.

وكذلك فإن اليورانيوم رباعي التكافؤ غير ثابت بالنسبة للأكسدة تحت ظروف خاصة. ويوجد اليورانيوم خماسي وسداسي التكافؤ بشكل مؤكسد في المحلول.

واليورانيوم سداسي التكافؤ مثل UO_2^{+2} يمكن أن يكون معقداً من النوع UO_2SO_4 و $UO_2(SO_4)_2^{-2}$، وكذلك $UO_2(SO_4)_3^{-4}$ وغيرها ويمكن أن تتكون معقدات مشابهة مع النترات (NO_3^-) والكربونات (CO_3^{-2}) والأيونات الأخرى. أيضاً فإن ايونات اليورانيوم تكون معقدات مع المذيبات المانحة لإلكترون مثل

الايثـرات والـكيتونـات وألـكيـل فوسـفات Alkyl Phophates وتتميـأ أيونـات اليورانيوم تحت الظروف التي تكون فيها الحامضية منخفضة جداً.

اليورانيوم ومركباته :

فلز اليورانيوم :

يستخدم فلـز اليورانيـوم كوقـود في المفـاعلات المبردة بالغـاز وفي عـدد مـن مفاعلات الأبحاث. فمفاعلا الهند للأبحاث يستخدمان فلز اليورانيوم كوقود.

وينتج فلز اليورانيوم باختزال رباعي فلوريد اليورانيوم UF_4 بواسطة فلزي الكالسيوم أو المغنيسيوم حسب التفاعل.

$$UF_4 + 2Mg \longrightarrow U + 2MgF_2$$

وهذا تفاعل طارد للحرارة بطبيعته. والحرارة الناتجة من عملية الاختزال هذه كافية لأن يكون الملح والفلز الناتجان منصهرين ومنفصلين عن بعضهما.

وكثافة فلز اليورانيوم هي 19.07 غرام/ سم^3 وهو أثقل 2.5 مرة من الفولاذ و1.5 مرة من الرصاص. واليورانيوم فلز فضي اللون إلا أنه يتحول إلى الأسود عند تعرضه للهواء بسبب تأكسد سطحه، وبالتالي يمكن تداول قطع كبيرة من فلز اليورانيوم في الهواء لكون التأكسد لا يتم إلا على السطح فقط.

ولكن القطع الناتجة عند تشغيل اليورانيوم أو عند طحنه يمكن أن تشتعل في الهواء. لذلك يجب الحذر عند التعامل معه. ويتفاعل اليورانيوم، كذلك، مع الماء ولكن طبقة الأكسيد الرقيقة تمنع تغلغل التفاعل عند درجة حرارة أقل 100 درجة مئوية وينصهر فلز اليورانيوم عند 1132 درجة مئوية وعلى كل فإنه قبل الانصهار يحدث تغير في التركيب الفيزيائي للفلز، حيث يتحول من طور ألفا إلى طور بيتا عند درجة حرارة 662 درجة مئوية، ثم يتحول من طور بيتا إلى طور جاما عند درجة حرارة 775 درجة مئوية. وتترافق هذه التغيرات بتغير كبير في كثافة الفلز.

ثاني أكسيد اليورانيوم:

في عملية استخلاص اليورانيوم نستطيع التحدث عن اكسيدين هما ثالث أكسيد اليورانيوم (UO_3) حيث يكون اليورانيوم سداسي التكافؤ، وثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) حيث يكون اليورانيوم رباعي التكافؤ. وعند تسخين أي من هذين الأكسيدين في الهواء لدرجة 800 درجة مئوية نحصل على الأكسيد المعروف U_3O_8، حيث يكون تكافؤ اليورانيوم بين 4 و6. ومن بين هذه الأكاسيد يعتبر ثاني أكسيد اليورانيوم (UO2) ذو أهمية بالغة. ولون هذا الأكسيد بني وكثافته 10.97 غم/سم^3، ودرجة انصهاره 2760 درجة مئوية ولديه صفات جيدة تجعله مفضلاً لاستخدامه وقوداً في المفاعلات.

وأحد أهم هذه الصفات هي ثبات تركيبه حتى درجة انصهاره، وكذلك توافقه الجيد مع سبائك التغليف رغم أن كثافته هي نصف كثافة فلز اليورانيوم. وهذا غير مفضل من الناحية الفيزيائية للمفاعل. حيث أن التركيب المفتوح لهذه المادة يعطي حيزاً لاحتواء نواتج الانشطار النووي أثناء توليد الطاقة. وعلى ذلك فإن الوقود المعتمد على ثاني أكسيد اليورانيوم UO_2 لا ينتفخ بشكل كبير مقارنة بالوقود الأعلى كثافة.

كربيد اليورانيوم:

يمكن تحضير اليورانيوم أحادي الكربيد بتفاعل فلز اليورانيوم مع الكربون أو الميثان أو بتفاعل أكسيد اليورانيوم مع الكربون حسب التفاعل:

$$UO_2 + 3C \longrightarrow UC + 2CO$$

ولا يمكن استخدام الكربيد في المفاعلات المبردة بالماء لأن الكربيد سريع التفاعل مع الماء، ولكنه وقود جيد للمفاعلات الولودة السريعة التي تستخدم الصوديوم المنصهر كمبرد. وكثافة كربيد اليورانيوم هي 13.6 غرام/سم^3 ودرجة انصهاره 2500 درجة مئوية وتوصيليته الحرارية تساوي حوالي

ضعف التوصيلية الحرارية لثاني أكسيد اليورانيوم لذلك، فهو أفضل من الأكسيد كوقود.

ويكوّن اليورانيوم نوعين آخرين من الكربيدات هما (U_2C_3) حيث تكون نسبة الكربون 1.5 من نسبة اليورانيوم ويسمى Sesquicarbide، والنوع الآخر ثنائي الكربيد (UC_2) بنسبة كربون 2. إلا أن هذه الكربيدات لا تستخدم في تطبيقات وقود المفاعلات الولودة السريعة بسبب نشاطها التفاعلي مع مواد التغليف كالفولاذ، واليورانيوم ثنائي الكربيد (UC_2) يستخدم كوقود للمفاعلات عالية الحرارة المبردة بالغاز Cooled Reactor High Temperature Gas التي تستخدم فيها الجرافيت كمادة تغليف.

نيتريد اليورانيوم:

يحضر اليورانيوم أحادي النيتريد بتفاعل فلز اليورانيوم مع النيتروجين أو الأمونيا حسب التفاعل التالي:

$$UO_2 + 2C + \frac{1}{2}N_2 \longrightarrow UN + 2CO$$

وكثافة نيتريد اليورانيوم هي 14.32 غرام/سم^3 ودرجة انصهاره 2630 درجة مئوية وتوصيليته الحرارية مشابهة للكربيد. ولأحادي النيتريد مستقبل واعد في مجال استخدامه كوقود للمفاعلات السريعة Fast Reactor.

رباعي فلوريد اليورانيوم:

رباعي فلوريد اليورانيوم هو مركب وسطي هام في تحضير فلز اليورانيوم وكذلك في تحضير سداسي فلوريد اليورانيوم. ويتم تحضير رباعي فلوريد اليورانيوم بتفاعل ثاني أكسيد اليورانيوم مع فلوريد الهيدروجين عند درجة حرارة 500 درجة مئوية:

$$UO_2 + 4HF \longrightarrow UF_4 + 2H_2O$$

والفلوريد الناتج أخضر اللون ولهذا يعرف بالملح الأخضر.

سداسي فلوريد اليورانيوم:

يحضر سداسي فلوريد اليورانيوم عن طريق تفاعل رباعي فلوريد اليورانيوم مع الفلور عند درجة حرارة 500 – 400 درجة مئوية.

$$FU_4 + F_2 \xrightarrow{400^\circ C - 500^\circ C} UF_6$$

وسداسي فلوريد اليورانيوم هو مادة صلبة بيضاء تتسامى بشكل مشابه لكلوريد الأمونيوم عند تسخينها إلى درجة 56 درجة مئوية، وحتى عند درجة حرارة 20 درجة مئوية فإن ضغط بخار سداسي فلوريد اليورانيوم فوق سطح المادة الصلبة يصل إلى 0.1 ضغط جوي. والطبيعة الغازية لهذا المركب جعلته مفيداً في عملية إثراء اليورانيوم 235 في اليورانيوم الطبيعي.

ومركب سداسي فلوريد اليورانيوم هو مادة شديدة التفاعل وتتأثر بالرطوبة ويتطلب التعامل معها حذراً خاصاً. والأوعية المصنوعة من سبيكة النيكل والألمنيوم هي فقط المفيدة في نقل هذا المركب (UF6) والتعامل معه وذلك لأنه عامل تآكل قوي.

اليورانيوم كوقود:

خصائص الوقود النووي:

القدرة النوعية:

تصمم قضبان فلز اليورانيوم أو حبيبات ثاني أكسيد اليورانيوم بحيث يكون لها قطر معين اعتماداً على التوصيلية الحرارية للمادة وعلى أعلى درجة حرارة يسمح بها في لب المفاعل، وعلى قدرة نظام التبريد على خفض الحرارة داخل المفاعل.

وفي حالة استخدام فلز اليورانيوم فإنه يفضل استخدام قضبان فلزية منه بقطر 30مم تقريباً، بسبب أن درجة حرارة مركز المفاعل يجب أن تبقى أقل من 600 درجة مئوية لتلافي أي تحول في الطور لليورانيوم، بحيث تبقى قدرة المفاعل محدودة بـ5 ميجاوات حراري/ طن ويتطلب المفاعل الذي ينتج 1000 ميجا واط

حرارة (حوالي 300 ميغا واط كهرباء) حوالي 200 طن من فلز اليورانيوم. وفي حالة استخدام اكسيد اليورانيوم كوقود للمفاعلات الحرارية، فإن هذا الوقود يكون عبارة عن أقراص من ثاني أكسيد اليورانيوم بقطر تقريبي 12مم.

وعلى الرغم من أن التوصيلية الحرارية للأوكسيد أقل منها للفلز، فإن استخدام أقراص ذات قطر أقل. وبسبب درجة الانصهار العالية، يمكن الحصول على قدرة نوعية تصل إلى 20 ميغا واط حراري/ طن. فالمفاعل ذو القدرة 300 ميغا واط كهرباء يتطلب عندئذ حوالي 50 طن من اليورانيوم الطبيعي. وعندما يثرى ثاني أكسيد اليورانيوم فإنه من الممكن الحصول على قدرة نوعية تبلغ 25 – 35 ميغا واط حراري/ طن. وبذلك تقل كمية اليورانيوم المطلوبة أيضاً. وفي المفاعلات الولودة السريعة. فإن الوقود يحوي 20٪ من المواد الانشطارية. بتصنيع أعمدة الوقود بقطر 5مم واستخدام الصوديوم كمبرد، فإن القدرة النوعية يمكن أن ترتفع إلى 200 ميغا واط حراري/ طن. ولهذا فإن مفاعل ولود سريع بقدرة 300 ميغا واط كهرباء يتطلب 5 طن من الوقود فقط. وعليه فإن المفاعلات الولودة السريعة هي مصادر طاقة صغيرة الحجم.

الاحتراق:

من الخصائص الأخرى الهامة للوقود النووي الاحتراق. وهو مقياس للطاقة الكلية المنتجة من الوقود أثناء بقائه داخل المفاعل. ويقاس الاحتراق بوحدة الميجا وات. يوم لكل طن (Mwd/te) فانشطار 1 جرام من اليورانيوم ينتج 1 ميغا واط يوم من الطاقة الحرارية التي تكافئ الحرارة الناتجة من ألف سخان قدرة كل منها 1 كيلو واط يعمل كل منها ليوم واحد. وهذا يكافئ تقريباً الحرارة الناتجة من احتراق 2.5 طن من الفحم. وإذا حدث انشطار لطن واحد من اليورانيوم وكانت نسبة اليورانيوم 235 فيه هي 0.1٪ (أي 1 كغم ^{235}U)، فإن ناتج الاحتراق سيكون 1000 ميغا واط. يوم /طن فالاحتراق الذي يمكن الحصول عليه من الوقود يعتمد بشكل كبير على تركيز النظائر الانشطارية في الوقود نفسه.

واستهلاك كل اليورانيوم 235 الموجود في اليورانيوم الطبيعي يكافئ 7000 ميغا واط يوم/طن. ومن الممكن الحصول على هذا الاحتراق حتى لو بقي جزء كبير من اليورانيوم 235 دون أن ينشطر، وذلك لأن الطاقة تنتج أيضاً بواسطة انشطار البلوتونيوم المتولد من اليورانيوم 238. وعملياً فإن الوقود لا يترك في المفاعل حتى تستهلك جميع المواد الانشطارية فيه وذلك لأنه يجب أن يكون هناك حد أدنى لمحتوى هذه المواد في الوقود للمحافظة على معدل القدرة في المفاعل.

كذلك فإن احتراق الوقود يمكن أن يقيد بتراكم نواتج الانشطار داخل قضبان الوقود وهذا في حالة الوقود الفلزي حيث أن أعلى احتراق يمكن الوصول إليه هو 5000 ميغا واط. يوم/ طن على الرغم من التغليف المحكم وفلز اليورانيوم ينتفخ أثناء توليد الطاقة بسبب عدم وجود فراغ لنواتج الانشطار في مادة الفلز.

أما اكسيد اليورانيوم فهو أكثر تحملاً لنواتج الانشطار، وعند وجود مقدار كاف من الإثراء (التخصيب). فإنه يمكن الوصول إلى درجة عالية من الاحتراق. وفي هذه الحالة فإن التآكل الكيميائي لمادة التغليف بسبب نواتج الانشطار. إضافة إلى أن انتفاخ الوقود يحدد مقدار الاحتراق.

ويمكن الوصول إلى درجة احتراق تقترب من 33 ألف ميغا واط. يوم/ طن في مفاعلات الماء المضغوط. ولهذا فإن الاحتياج السنوي من الوقود لمفاعل الماء المضغوط بقدرة 1000 ميغا واط حرارة (300 ميغا واط كهرباء) هو فقط 10 طن. وهناك محاولات جارية لزيادة هذا الاحتراق إلى 50 ألف ميغا واط حرارة/ طن الذي سيؤدي إلى تحسين اقتصاديات الوقود.

وفي حالة المفاعلات الولودة السريعة فإن الضرر الذي تلحقه النيوترونات بمادة التغليف يدخل في الحسبان. وعلى كل فإن درجة الاحتراق التي تم الحصول عليها هي 100000 ميغا واط. يوم/ طن. وفي بعض الحالات وصلت درجة الاحتراق إلى 200000 ميغا واط. يوم/ طن. وعلى ذلك فإن الاحتياج السنوي من الوقود للمفاعلات الولودة السريعة يعتبر قليلاً جداً. ويورد الجدول التالي بعض بيانات الوقود العامة.

الخصائص	مفاعل الماء الثقيل المضغوط (PHWR)	مفاعل الماء المضغوط بـ الماء المغلي (BWR/PWR)	مفاعل التبريد الغازي (GCR)	المفاعلات الولودة السريعة (FBR)
الوقود	UO_2	UO_2	U	$UO_2 - PUO_2$
القدرة النوعية ميغا واط حرارة/ طن (MWt/te)	20	30 ± 5	5	200
الوقود الكلي طن (te)	50	33	200	5
الاحتراق (ميغا واط. يوم/ طن) (MWd/te)	7.000	31000 – 41000	5.000	أكبر من 100.000
متطلبات الوقود السنوية (طن) (te)	50	10	70	3.5

خصائص الوقود النووي لمفاعل بقدرة 1000 ميغا واط حراري

(300 ميغا واط كهربائي)

تصنيع الوقود:

إن تصنيع وقود فلز اليورانيوم هو من التقنيات الصعبة لوجود بعض الخصائص غير المرغوب فيها لفلز اليورانيوم. وقضبان فلز اليورانيوم عندما تسخن وتبرد لعدة مرات مثلما يحصل عادة في المفاعلات، يحدث لها استطالة.

ولأن هذا السلوك لا يمكن قبوله في المفاعلات فإن الوقود يعامل معاملة حرارية خاصة أثناء تصنيعه لتلافي هذه المشكلة. كذلك فإن فلز اليورانيوم يحدث له انتفاخ أثناء التشعيع ولهذا لابد أن تكون مادة التغليف قوية أو أن يكون الاحتراق منخفضاً.

وقود الأكسيد:

اكسيد اليورانيوم عبارة عن مسحوق طفلي، ومن غير الممكن تصنيعه كقضبان ولهذا فإن أكسيد اليورانيوم يستخدم على شكل أقراص ذات قطر يساوي 12مم وارتفاع 15 مم. ويتم إعداد هذه الأقراص بضغط ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) كي يشكل أقراصاً يتم بعد ذلك تسخينا إلى 500 درجة مئوية للحصول على

مادة صلبة عالية الكثافة ومن المهم المحافظة على قطر هذه الأقراص لضمان دخولها في أنبوب التغليف. كما أنه يجب أن يكون الفراغ بين الأقراص وأنبوب التغليف صغيراً. بحيث تنتقل الحرارة بشكل تام من الأقراص إلى أنبوب التغليف. ويجب أن تكون كثافة جميع الأقراص متماثلة لتلافي وجود نقاط ساخنة. ولأن بعض نواتج الانشطار عبارة عن غازات فيجب أن يكون تركيب هذه الأقراص قابلاً للاحتفاظ بهذه الغازات حيث أن أي انطلاق لهذه الغازات يسبب ارتفاع الضغط على أنبوب التغليف، مما يؤدي إلى فشل هذا الوقود.

وتوضع أقراص الوقود داخل أنابيب تغليف مصنوعة من سبيكة الزركونيوم ويتم لحامها. ويجمع عدد من هذه الأنابيب لتكوين حزمة وقود. وفي مفاعلات الماء الخفيف LWR. فإن أعمدة الوقود تكون طويلة إلى حد ما بسبب الاحتراق العالي الذي يمكن الحصول عليه، لذلك فإنه يترك بعض الفراغ لنواتج الانشطار والغازات المنطلقة أثناء إنتاج الطاقة الكهربائية.

البلوتونيوم:

لقد أوجد اكتشاف الانشطار النووي عام 1939 قوة دافعة لتوسيع الجدول الدوري للعناصر وقد ظهر فرع جديد من فروع العلوم النووية قاد إلى اكتشاف عناصر ما بعد اليورانيوم. وهذا المجال البحثي النامي المزدهر قاد إلى اكتشاف عناصر جديدة وصلت حتى العنصر رقم 112 حالياً. وقد اكتشف البلوتونيوم بواسطة العالم سيبودنج (G.T.Seaborg) ومعاونيه. ويعتبر البلوتونيوم أول عناصر ما بعد اليورانيوم التي أمكن فصلها بكميات محسوسة. وقد فصل كل من كوننجهام (B.B.Cunningham) وورنر (L.B.werner) كمية من البلوتونيوم 239 تقدر بحوالي 1 ميكر وجرام. وذلك في 18 أغسطس عام 1942م وقد تمت عملية الفصل هذه باستخدام خمسة كيلوغرامات من نترات اليورانيوم المائية $UO_2(NO_3)_2\,6H_2O$ التي شععت بالنيوترونات المنتجة بواسطة تفاعل الديوتيريوم مع البريليوم باستخدام المسرع النووي الدوار (سيكلوتردن) بجامعة كاليفورنيا (مختبر الإشعاع – بيركلي) وقد تمت إضافة 5 مللي جرام من السيريوم (Ce)

واللانثانيوم (La) المذابة في حمض الكبريتيك H_2SO_4 ذي تركيز 0.5 مولار إلى المحلول الذي تم تركيزه بواسطة التبخير ثم رسبت الفلوريدات بإضافة محلولي حمض الهيدروفلوريك (HF) وفلوريد البوتاسيوم (KF). ثم حولت الفلوريدات إلى كبريتات بإضافة حمض الكبريتيك H_2SO_4. وفي هذه المرحلة فإن العناصر الأرضية النادرة مثل السيريوم واللانثانيوم ترسبت كفلوريدات وبقي البلوتونيوم في المحلول. وبإعادة هذه العملية بشكل دوري نتج بلوتونيوم نقي يستخلص في محلول حمض النيتريك المخفف (HNO_3). وقد كانت المحصلة النهائية من البلوتونيوم كمية غير محسوسة وزناً. لذلك، أعيدت التجربة باستخدام 90 جراماً من نترات اليورانيوم وذلك في 10 سبتمبر عام 1942م. وقد تم الحصول على أول كمية نقية موزونة من هذا العنصر المنتج صناعياً عندما وضع محلول البلوتونيوم النقي في كفة من البلاتين معروفة الوزن والتي تم حرقها وكان فارق الوزن بعد الحرق هو 2.77 ميكروجرام من أكسيد البلوتونيوم PuO_2 وقد حفظت هذه الكمية لتصبح مرجعاً مستقبلياً.

خواص البلوتونيوم الكيميائية:

البلوتونيوم هو أحد العناصر القليلة في الجدول الدوري التي تتميز بخصائص كيميائية معقدة ويوضح التركيب الإلكتروني للبلوتونيوم أن المدارات الخامس والسادس والسابع لذرة البلوتونيوم ممتلئة جزئياً. ولهذا فإن الإلكترونات في هذه المدارات يمكن أن تساهم في التفاعلات الكيميائية. ويمكن أن يوجد البلوتونيوم بتكافؤ ثلاثي ورباعي وخماسي وسداسي. ففي حالة التكافؤ الخماسي والسداسي يوجد البلوتونيوم بشكل PU^{+5} و PU^{+6} أو PUO_2^+ ، PUO_2^{+2}.

وفي المحاليل المائية فإن PUO_2^+ و PUO_2^{+2} هما فقط الشكلان المستقران. والبلوتونيوم هو العنصر الواحد الذي تتشابه حالات تكافؤه إلى حد كبير. ويمكن أن تتواجد مع بعضها في نفس المحلول. وتحت ظروف خاصة فإنه من الممكن تثبيت حالة أيونية معينة. مثال ذلك، البلوتونيوم رباعي التكافؤ الذي يكون في أكثر حالاته استقراراً في محلول حمض النيتريك.

وأيونات البلوتونيوم لديها قابلية لتكوين معقدات مع الأيونات. فعلى سبيل المثال فإن البلوتونيوم الرباعي يمكن أن يكون المعقدات التالية في حمض النيتريك.

$$PU(NO_3)^{+3}, PU(NO_3)_2^{+2}, PU(NO_3)_3^{+}, PU(NO_3)_4, PU(NO_3)_6^{-2}$$

الخواص الانتقائية للتأكسد والاختزال، وكذلك خواص تكوين المعقدات هي جوانب مهمة في تصميم طرق فصل واستخلاص العنصر. ويمكن أن يكون أيون البلوتونيوم معقدات مع عدد من المركبات العضوية مثل الايثرات والكليتونات وثلاثي بيوتايل الفوسفات. فالمركبات مثل: $PU(NO_3)_4\ 2TBP$ هي مركبات ذوابة في الوسط العضوي. ولذا فهي الأساس لكثير من عمليات الفصل.

البلوتونيوم ومركباته:

فلز البلوتونيوم:

ينتج فلز البلوتونيوم عن تفاعل رباعي فلوريد البلوتونيوم PoF_4 مع فلز الكالسيوم Ca وفق المعادلة:

$$PuF_4 + 2Ca \longrightarrow PU + 2CaF_2$$

ويعتبر فلز البلوتونيوم أحد الفلزات عالية الكثافة حيث تبلغ كثافته 19.86 جرام/ سم^3 وتبلغ درجة انصهاره 640 درجة مئوية، ولكنه يخضع، بين درجة حرارة الغرفة ودرجة انصهاره لعدة تحولات طورية ذات اختلافات محسوسة في كثافته. ولهذا فإن فلز البلوتونيوم الصلب غير ملائم لاستخدامه مباشرة كوقود للمفاعلات.

إلا أن هذا الأمر لا يعتبر عائقاً في استخدامه كوقود حيث أن فلز البلوتونيوم النقي لا يستخدم مطلقاً كوقود للمفاعلات لكونه ذو محتوى انشطاري عال. ولهذا فإنه عادة ما يخفف بفلز اليورانيوم أو أي فلز آخر مناسب عند استخدامه وقوداً للمفاعلات.

فلز البلوتونيوم شديد التفاعل. ويتفاعل مباشرة مع الهواء الرطب. ولهذا فإن جميع العمليات التي تتضمن التعامل مع فلز البلوتونيوم تجري في صناديق قفازات معزولة عن الهواء (Inert atmosphere glove boxes).

أكسيد البلوتونيوم:

هو مادة البدء في تصنيع وقود البلوتونيوم، ويستخدم كذلك لتحضير معظم مركباته. والناتج النهائي لعملية إعادة معالجة الوقود هو محلول من نترات البلوتونيوم. ويتم تحضير أكسيد البلوتونيوم من ذلك المحلول بترسيب الإكسالات Oxalate ومن ثم حرقها:

$$PU(NO_3)_4 + 2H_2C_2O_4 \longrightarrow PU(C_2O_4)_2 + 4HNO_3$$

$$PU(C_2O_4)_2 + O_2 \xrightarrow{500^\circ C} PUO_2 + 4CO_2$$

يعتمد لون أكسيد البلوتونيوم على مصدره، وهو يتلون من الأسود المصفر إلى الأخضر. وتبلغ كثافته النظرية 11.46 جرام/سم^3، وتبلغ درجة انصهاره 2400 درجة مئوية. واكسيد البلوتونيوم مستقر إلى حد ما تحت ظروف التشعيع بالنيوترونات ومرشح قوي لاستخدامه كوقود نووي. ولكونه مادة خزفية فإن توصيليته الحرارية منخفضة ولكنه يعوض ذلك بدرجة انصهاره المرتفعة إلى حد كبير.

كربيد البلوتونيوم:

تعتبر كربيدات البلوتونيوم ذات أهمية في الحصول على نسبة توليد عالية في المفاعلات الولودة السريعة. والبلوتوينوم أحادي الكربيد (Mono carbide)، الذي يحوي ذرة كربون بدلاً من ذرتي اكسجين في اكسيد البلوتونيوم له قدرة أقل على تهدئة النيوترونات في المفاعلات السريعة، ويؤدي ذلك إلى نسبة توليد أعلى. كذلك، فإن التوصيلية الحرارية للبلوتونيوم أحادي الكربيد أعلى منها في أكسيد البلوتونيوم. وذلك يفيد في تقليل كمية المواد المستخدمة في المفاعلات الولودة السريعة. ويمكن الحصول على البلوتونيوم أحادي الكربيد بالتفاعل

المباشر بين فلز البلوتونيوم وغاز الميثان (methane) إلا أن الطريقة الأكثر شيوعاً هي الاختزال الحراري لأكسيد البلوتونيوم بالكربون كما في المعادلة:

$$PUO_2 + 2C \xrightarrow{1400°C} PoC + CO_2$$

والكثافة النظرية للبلوتونيوم أحادي الكربيد هي 13.58 جرام/ سم^3. ودرجة انصهاره 1654 درجة مئوية. ووجود كمية زائدة من الكربون يمكن أن يؤدي إلى تكون أنماط أخرى من الكربيد مثل PU_2C_3 و PUC_2.

نيتريد البلوتونيوم:

يعتبر نيتريد البلوتونيوم وقوداً متطوراً للمفاعلات الولودة السريعة، ولديه القابلية لنسبة توليد عالية. ويمكن تحضيره بالتفاعل المباشر بين فلز البلوتونيوم وغاز النيتروجين أو بواسطة الاختزال الحراري لأكسيد البلوتونيوم بالكربون في وسط من غاز النيتروجين حسب التفاعل:

$$PUO_2 + C + \frac{1}{2}N_2 \xrightarrow{1400°C} PUN + CO_2$$

وتبلغ كثافة نيتريد البلوتونيوم 14.22 جرام/سم^3، ويتفكك إلى البلوتونيوم والنيتروجين عند درجة حرارة أعلى من 1600 درجة مئوية، ولا تتكون نيتريدات أعلى من النيتريد الأحادي.

البلوتونيوم رباعي الفلور:

البلوتونيوم رباعي الفلور هو المادة التي يبدأ بها تحضير فلز البلوتونيوم، ويتم تحضيرها من أكسيد البلوتونيوم بمعاملته بفلوريد الهيدروجين وفق المعادلة:

$$PUO_2 + 4HF \xrightarrow{500°C} PUF_4 + 2H_2O$$

ورباعي فلوريد البلوتونيوم وردي اللون وكثافته تقدر بـ 6.75جرام/سم^3 ودرجة انصهاره 1027 درجة مئوية.

الوقود المعتمد على البلوتونيوم:

يمكن أن يستخدم البلوتونيوم المستخلص من إعادة معالجة الوقود كمادة انشطارية في المفاعلات الحرارية أو المفاعلات الولودة السريعة. وهناك عدد من الدول تبحث إمكانية استخدام خليط من أكاسيد (MOX) اليورانيوم والبلوتونيوم تحوي ما يقارب 4٪ من اكسيد البلوتونيوم (PUO_2) كوقود لمفاعلات الماء الخفيف ولهذا الغرض، فإنه لا حاجة لليورانيوم المثري. لأن البلوتونيوم يغني عن اليورانيوم 235. وبالفعل فقد استبدلت بعض حزم اليورانيوم المثري بحزم من الاكسيد في وقود مفاعلات تابس (TAPS).

يستخدم البلوتونيوم كما ذكر سابقاً بكفاءة أكثر من المفاعلات الولودة السريعة حيث أن الخواص النووية للبلوتونيوم تعطي نسبة توليد عالية عندما تستخدم النيوترونات السريعة. وأغلب الوقود المستخدم في المفاعلات الولودة السريعة يتكون من خليط من اكسيد اليورانيوم والبلوتونيوم حيث يحوي 25٪ من ثاني اكسيد البلوتونيوم (PUO_2) وهو المستخدم في مفاعل (PFR) في المملكة المتحدة بقدرة 250 ميغا واط وكذلك مفاعل (Super Phoenix) الفرنسي بقدرة 1200 ميغا واط. ومفاعل BN600 الروسي (الاتحاد السوفيتي سابقاً)، بطاقة 600 ميغا واط. وقد صنع وقود هذه المفاعلات بعمليات مشابهة لتصنيع اكسيد اليورانيوم، حيث تخلط بودرة اكسيد اليورانيوم مع بودرة اكسيد البلوتونيوم ثم يستخدم الخليط لتصنيع أقراص الوقود بقطر يتراوح بين 5 و 8مم.

بعد ذلك تعبأ الأقراص في أنبوب من الفولاذ لصنع قضبان الوقود. وتتم جميع هذه العمليات حتى إنتاج قضبان الوقود باستخدام صندوق القفازات. للتأكد من العزل المحكم ولا يمكن السماح لبودرة اكسيد البلوتونيوم بالتسرب إلى جو المختبر أو ملامسة أي من العاملين. ويفترض في صندوق القفازات أن يوفر مثل هذه الحماية رغم أنه يصعب عملية تصنيع الوقود إلى حد ما. وبعد ذلك تجري عملية تنظيف للسطح الخارجي لقضبان الوقود ويتم إخراجها من صندوق القفازات وذلك لعمل حزم قضبان الوقود.

تطبيقات البلوتونيوم الأخرى:

مصادر النيوترونات:

صنفت مصادر النيوترونات في الثلاثينات من القرن العشرين وذلك بتجميع عنصر الراديوم مع بودرة البريليوم، حيث تتفاعل جسيمات ألفا (α - Particles) المنطلقة من الراديوم مع البريليوم لتعطي نيوتروناً وقت التفاعل:

$${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

وعلى كل، فإنه بسبب وجود نويدات تبعث جسيمات بيتا وأشعة جاما مصاحبة لسلسلة تفكك الراديوم والرادون فإن استخدام هذه المصادر أصبح أمراً مرهقاً وغير مرغوب فيه. ولهذا فإن استبدال الراديوم/ رادون بالبلوتونيوم قد أدى إلى تطوير مصادر نيوترونات مأمونة يمكن استخدامها في مختبرات الأبحاث. ولهذا الغرض فإنه يمكن استخدام أكسيد البلوتونيوم بحيث يخلط مسحوقه بشكل تام مع بودرة فلز البرليوم أو تستخدم سبيكة من البلوتونيوم والبرليوم ثم بعد ذلك يغلف هذا المصدر في كبسولة من الفولاذ لضمان الأمان أثناء تداوله.

مولدات الطاقة النظائرية:

عمر النصف للبلوتونيوم 238 هو 87.7 سنة ويتفكك بانبعاث جسيمات ألفا. ويمكن تحويل طاقة جسيمات ألفا المنبعثة منه إلى حرارة. ويعطي جرام واحد من البلوتونيوم 238 قدرة حرارية مقدارها 0.55 واط. وهذه الحرارة يمكن استخدامها لتوليد كمية قليلة من الكهرباء بمساعدة جهاز كهربائي حراري Thermoelectric. ولهذا، فإنه يمكن أن يصنع من البلوتونيوم 238 بطارية طاقة لأغراض خاصة. وأحد تطبيقات بطاريات البلوتونيوم 238 الهامة هو استخدامها في جهاز تنظيم ضربات القلب، وكذلك استخدامها لتوفير الطاقة للعديد من الأقمار الصناعية. وقد صنع عدد من هذه البطاريات بقدرات تتراوح بين 0.2 و 30 واط.

البريليوم:

تعتبر الأحجار الكريمة مثل حجر الزُمرد الأخضر الداكن، وحجر الزبرجد الأزرق المخضر المرجنت وهو حجر كريم وردي اللون، والهليدور Heliodors الذهبي

اللون ذات جمال رائع. وجميع هذه الأحجار عبارة عن صنف متبلور بشكل جيد للبريل (Beryl) الذي هو سيليكات البريليوم 6SiO2، AL2O3، 3BeO وبلورات البريل عديمة اللون، إلا أن إضافة أية كمية قليلة جداً من العناصر كشوائب تجعلها ملوثة. والبريل هو المصدر الأساس للبريليوم، ويوجد عادة كبلورات موشورية الشكل في البجماتيت (Pegmatite)، وهو نوع من أنواع الصوان أو الجرانيت.

لقد لاحظ هاري (R.J. Hary) عام 1798م أن الخواص الضوئية للزمرد مماثلة لخواص البريل التجاري. وقد أثبت التحليل الكيميائي لهذين الحجرين بواسطة لويس فادكولين أن المادتين متجانستان وتحويان عنصراً جديداً سمي جلوسينيوم. وقد سمي البريليوم بهذا الاسم عام 1828م بواسطة العالم ووهلر. الذي نجح في فصل البريليوم متزامناً مع العالم بوصى (W. Bussy) في فرنسا. وقد تم فصل البريليوم بإختزال كلوريد البريليوم بواسطة البوتاسيوم ويتم الحصول على البريل من مناجم سطحية بالجمع اليدوي، حيث تحوي مئات من أطنان الصخور طناً واحداً فقط من بلورات البريل. وحتى الثلاثينات من هذا القرن فقد اقتصر الاهتمام بالبريليوم على المختبرات. ولكن اكتشاف النيوترون بواسطة قذف البريليوم بجسيمات ألفا أدى إلى الاهتمام بالبريليوم في العلوم النووية وبشكل خاص فإن خواصه كمهدئ للنيوترونات جعلته مادة هامة في الصناعات النووية.

استخدامات البريليوم وسبائكه :

استخداماته في الأنظمة النووية:

لفلز البريليوم مقطع عرضي صغير للغاية لامتصاص النيوترونات الحرارية (0.0095 بارن) بالمقارنة بجميع الفلزات الأخرى. والخاصية الأخرى للبريليوم هي تميزه بمقطع عرضي كبير لانعكاس النيوترونات. وهو مهدئ للنيوترونات وله درجة انصهار عالية. ويتميز البريليوم بالمتانة مما جعله مهدئاً وعاكساً جيداً للنيوترونات. وينحصر استخدام البريليوم في مفاعلات خاصة بسبب غلاء ثمنه. وقد استخدم فلز البريليوم واكسيد البريليوم كمواد إنشاء وعاكس في مفاعل اختبار المواد والمفاعل الهندسي التجريبي والمفاعل التجريبي المتقدم والمفاعل المولد التجريبي – 2 في الولايات المتحدة الأمريكية.

وكثير من مكونات التجهيزات في أبحاث النيوترونات مصنوعة من البريليوم أو أكسيد البريليوم ويستخدم البريليوم أيضاً لإنتاج مصادر النيوترونات اللازمة لبدء تشغيل المفاعلات وكذلك للأبحاث. وفضلاً عن المصادر النيوترونية المعتمدة على التفاعل (n و α) (ألفا ، نيوترون) يمكن عمل مصادر تعتمد على التفاعل (y,n) (جاما ، نيوترون). ومعظم هذه المصادر هي من الأنواع $({}^{239}PU - {}^{9}Be)$ و$({}^{124}Sb - {}^{9}Be)$ وعند استخدام البريليوم كمهدئ للنيوترونات أو كعاكس لها في المفاعلات النووية فإن البريليوم يخضع للتفاعلات النووية التالية:

$${}^{9}Be + n \longrightarrow {}^{9}He + \alpha$$

$${}^{6}He \longrightarrow {}^{6}Li + B^{-}$$

$${}^{6}Li + n \longrightarrow {}^{4}He + {}^{3}H$$

$${}^{9}Be + y \longrightarrow {}^{8}Be + n$$

$${}^{8}Be \longrightarrow 2\alpha$$

$${}^{9}Be + n \longrightarrow {}^{8}Be + 2n$$

تطبيقات البريليوم في الصناعات الأخرى:

البريليوم هو أخف مواد البناء حيث أن كثافته هي ثلث كثافة الألمنيوم. وهو العنصر الخفيف الوحيد الذي يمتاز بالثبات حيث أن درجة انصهاره عالية.

وحتى البريليوم الساخن المحمر لا يتفاعل مع الهواء أو البخار، حيث أنه محمي بطبقة من اكسيد البريليوم تمنعه من التفاعل، وللبريليوم خاصية توصيل كهربائي جيدة، وسعة حرارية عالية، وتوصيلية حرارية عالية. وله خواص ميكانيكية جيدة عند رفع درجة حرارته.

ومعامل مرونته أعلى بنسبة 1 : 3 عنها في الفولاذ. وللبريليوم أيضاً تطبيقات في علوم الفضاء. ولإمكانية تصنيع البريليوم بشكل دقيق وأبعاد ثابتة، فقد أدى ذلك إلى استخدامه بشكل كبير في أنظمة القيادة وأجهزة التحكم الملاحية مثل الجيرسكوب (أداة لتحديد الاتجاه) والمسرعات. يوفر البريليوم في تطبيقات الفضاء 60٪ من الوزن مقارنة بالمواد الأخرى. ولهذا فإنه يستخدم لصناعة أجزاء كثيرة من الصواريخ ومركبات الفضاء والطائرات العسكرية. وللبريليوم خواص

حرارية ممتازة تجعله مادة جيدة لتصنيع اسطوانات مكابح الطائرات العسكرية. ولكون البريليوم من العناصر الخفيفة فإنه ينفذ أشعة اكس بشكل فعال أكثر 17 مرة من الألمونيوم. ولذا يستخدم بشكل كبير في تصنيع نوافذ أنابيب الأشعة السينية لإنفاذ هذه الأشعة وإيقاف الإلكترونات. ويبقى السطح المصقول والبريليوم لامعاً لعدة سنوات. ولهذا يستخدم لصنع مرايا خاصة لتطبيقات الفضاء.

ويستخدم البريليوم أيضاً كحاجز حراري في رحلات عطارد الفضائية وفي أجزاء مقصورة الركاب للعديد من المركبات الفضائية.

وفي الصناعات التقليدية يستخدم البريليوم كسبيكة. ومن بين السبائك المختلفة: فإن سبائك البريليوم – النحاس هي الأكثر استخداماً. حيث إن إضافة كمية قليلة من البريليوم للنحاس تعطيه صلابة قوية. وهناك سبائك ذات تركيز عال من البريليوم مثل السبيكة - 25 التي تحوي 2٪ بريليوم و 0.3٪ كوبلت.

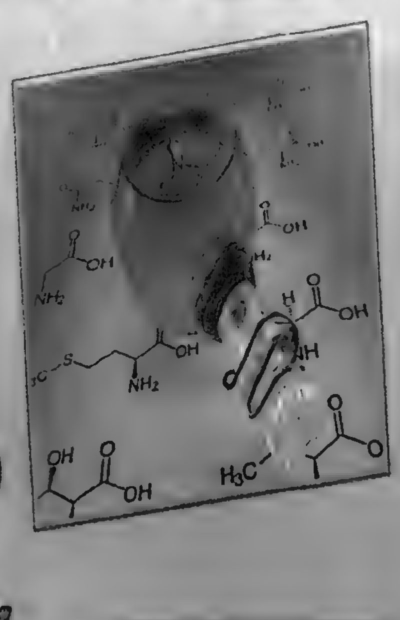
وتتميز هذه السبيكة بمتانة عالية ولها استخدامات واسعة خصوصاً في "النوابض متناهية الدقة (Precision Springs)" وصلابة سبيكة البريليوم – النحاس جعلتها أيضاً ذات أهمية في صناعة بعض الأدوات في المصافي ومصانع المتفجرات، التي تشكل فيها أي شرارة خطورة بالغة، حيث أن الأدوات المصنوعة من سبائك البريليوم – النحاس لا تحدث أي شرر. وسبائك البريليوم من نوع 50C تحوي 0.6٪ من البريليوم و1.6٪ من الكوبلت، ولها خاصيتا توصيل كهربائي وحراري جيدتان. لذلك، تستخدم في صناعة الإلكترونيات وكذلك في التطبيقات والتجهيزات الآلية، ويمكن استخدام البريليوم لتكوين سبيكة المغنيسيوم لتقليل سرعة اشتعاله. كذلك، فإن فقدان الفضة لبريقها يمكن أن يعالج بصنع سبيكة من الفضة يدخل فيها البريليوم.

ولأكسيد البريليوم خواص ممتازة كمادة مقاومة للانصهار ويستخدم في تطبيقات خاصة مثل شموع الاحتراق في الطائرات وفي عمل الرادارات.

وأكسيد البريليوم مادة ثابتة غير منصهرة ويمكن استخدامه كبوتقة لاحتواء الفلزات النشطة.

الفصل الثاني

كيمياء المواد



2



الفصل الثاني

كيمياء المواد

بعض المعادن المهمة:

أهمية المعادن:

درج الإنسان على تقسيم تاريخه المعروف إلى عصور أخذ كل منها سِمَتَهُ من المواد التي استخدمها لصنع أدوات طعامه أو صيده، أو تسلح بها أو ساعدته في بعض حاجاته مثل بناء المأوى وإنتاج الكساء أو السفر إلى غير ذلك. ومن هنا ظهرت أوصاف العصر الحجري والبرونزي والحديدي وغيرها.

وقبل ظهور المبلمرات الصناعية كانت أهم المواد التي أثرت في حياة الإنسان هي المعادن فقد عرف الذهب والفضة والنحاس منذ القديم، وربما كان ذلك راجعاً إلى وجود هذه العناصر أحياناً حرة وبشكل يسهل العثور عليه قرب سطح الأرض.

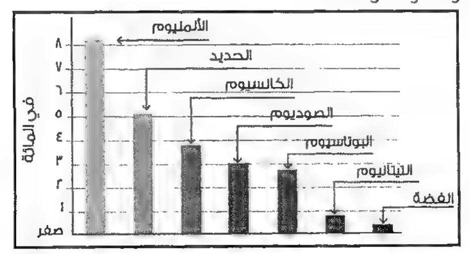
وقد استخدم الإنسان هذه المعادن في الحلي والزينة والعملة. ولكن باقي المعادن، بما في ذلك أشهرها مثل الحديد والألمنيوم، توجد في الطبيعة متحدة مع عناصر أخرى. ويجب القيام بعمليات تستخلصها في حالة صالحة للاستعمال.

وقد كان لظهور معدن أو أكثر وانتشار استخدامه في أحيان كثيرة تأثيرات سياسية واقتصادية واجتماعية واسعة، فحين عرف البرونز (90٪ نحاس و10٪ قصدير) قبل حوالي خمسة آلاف سنة وانتشر استخدامه، فإنه أبرز تفوق الشعوب التي كانت تستخدمه على غيرها ممن كانوا لا يزالون مسلحين بالأدوات الحجرية. وكذلك كان الحال مع الشعوب التي نالت البأس باستخدام الحديد حوالي 1500 قبل الميلاد.

وفي العصر الحديث وبما كان الألمنيوم واستخدامه أبرز معالم العصر. فهذا المعدن كان إلى عهد قريب نادراً جداً إلى درجة أن قطعة منه عرضت إلى جوار جواهر التاج البريطاني في معرض باريس عام 1855. لكن الالمنيوم أصبح الآن من أشهر المواد الإنشائية، ووصل إنتاج العالم منه في العقد الماضي إلى حوالي خمسة عشر مليون طن. وقد كان ذلك بفضل استخدام الكهرباء في استخلاصه من الخام المسمى بوكسايت Bauxit. ومن أبرز تأثيرات استخدام الألمنيوم تطور صناعة الطائرات وانتشار الأسفار الجوية، فهو أساسي لصناعة الطائرات لخفة وزنه ومتانته.

وهناك عدد من العوامل يؤثر بعضها أو كلها في تقرير قيمة معدن ما وانتشاره وتنوع استخداماته ومن هذه العوامل خواص المعدن الفيزيائية والكيميائية وسهولة إنتاجه وتعدد وظائفه فالذهب مثلاً كان، ولا زال، من المعادن القيمة لسهولة تشكيله ولمقاومته للتآكل وعدم تأثره بالعوامل الجوية، فهو من هذه النواحي ذو قيمة عالية.

وليست ندرة المعدن في الطبيعة أو توافره العامل الوحيد في تقرير قيمته. فالألمنيوم مثلاً من أكثر المعادن توافراً في القشرة الأرضية، إلا أنه كان نادراً وثميناً جداً إلى أن اكتشفت طريقة اقتصادية لاستخلاصه من خاماته، ومن ثم عرفت فوائده وانتشر استخدامه.



خامات المعادن:

تستخلص كل المعادن من الخامات المعدنية، وهي مركبات تستخرج من القشرة الأرضية، أو يجب أن تخلص من الشوائب الترابية وغيرها قبل أن تعالج لاستخلاص المعدن منها.

وقد تقدم علم التعدين إلى درجة جعلت العثور على الخامات علماً يعتمد على التعرف على أنواع الصخور باستخدام عدد من الأجهزة والآلات، وكثيراً ما يلجأ فيه إلى مختلف فنون التصوير والقياس. بعضها أصبح يُعد بواسطة الأقمار الصناعية. فلم يعد التعدين، كما بدأ مسألة تعتمد على الخط.

وجود خامات المعادن:

اليابسة هي ما يقع تحتنا مباشرة من الأرض، ومنها نستمد معظم ما نحتاجه من مواد لغذائنا وكسائنا ومأوانا ولهونا. ولم نصل في معرفتنا لليابسة إلا لما هو على السطح أو على عمق بسيط نسبياً إذا ما أدركنا أن نصف قطر الأرض يبلغ 6370 كم. فأعمق ما حفر من آبار وصل إلى 7.7 كم. وأعمق المناجم وصل إلى نصف ذلك تقريباً.

ومعظم المواد التي أصبحت ذات أهمية لنا غير متوافرة في أجزاء اليابسة التي، امتد إليها نشاط الإنسان، كما أن الكثير منها موجود في صور لا تغني شيئاً. أما تلك المواد الموجودة في صور صالحة للاستغلال الاقتصادي فهي الخامات Oresالتي يتوجب علينا في الغالب أن نفصلها عن كثير من الشوائب غير المرغوبة لنعالجها بعد ذلك بطريقة كيميائية، ونحولها إلى شكل نافع.

وقد أدى الاستغلال المتوسع لكثير من الخامات القريبة من السطح إلى تغييرات كثيرة في معالم وجه الأرض. ويقدر بعض الخبراء أنه في العالم الصناعي المتقدم، وفي مقابل كل فرد فيه يؤخذ من المواد ما يصل إلى 25 طناً في كل سنة للعمليات المذكورة. وحيث أن الخامات الغنية لكثير من المواد النافعة قد نضبت

أو أوشكت على ذلك صار لزاماً على الباحثين عن الخامات أن يتحولوا إلى خامات أفقر، وهذا يعني زيادة في النفقات وصعوبة تكنولوجية.

استطاع العلماء التوصل إلى معرفة بنية وتكوين الأرض، وقشرة الأرض هي أقرب الأجزاء إلينا، وتشكل حوالي 0.4٪ من مجمل كتلة الأرض، وسمكها يتراوح بين 17 و 70كم.

وفي الجدول التالي يذكر بعض المعادن الشهيرة وخاماتها الرئيسية وطريقة الاستخلاص المتبعة في كل حالة.

أشهر الخامات المعادن وطرق استخلاصها

المعدن	المصدر (الخام)	طريقة الاستخلاص
الصوديوم	الملح NaCL	التحليل الكهربائي لمصهور الملح المخلوط مع $CaCL_2$
المغنيسيوم	ماء البحر وصخر الدولوميت $CaCO_3$, $MgCO_3$, Dolomite	التحليل الكهربائي لمصهور $MgCL_2$
الألمنيوم	البوكسايت AL_2O_3, Bauxite $2H_2O$	التحليل الكهربائي لمصهور البوكسايت مذاباً في الكريوليت
الحديد	ماجنيتايت Fe_3O_4 Magnetite هيماتيت Fe_2O_3	اختزال الأكاسيد بالكربون وأول أوكسيد الكربون
الرصاص	جالينا Pbs Galena	تحويله إلى الأوكسيد pbo الذي يختزل بالكربون
النحاس	بيريت النحاس Copper pyrite $CuFeS_2$	التحميص في الهواء مع الرمل ثم التحليل الكهربائي للتنقية

والخامات المعدنية الموجودة في الأرض محدودة، لذلك يتهددها النفاد يوماً ما. ويتوقف ذلك بالطبع على مدى التوسع في استخدام أي من المعادن وعلى ما إذا كان بعضها سيفضل البعض الآخر. فنحن نرى مثلاً أن الألمنيوم يأخذ مكان

النحاس في الموصلات (الناقلات) الكهربائية، وهذا من شأنه أن يزيد من استهلاك الألمنيوم، ويخفض من استهلاك النحاس.

وسيتوقف ذلك أيضاً على ما إذا كان المستقبل سيشهد اكتشاف مزيد من الخامات المعدنية، أو سيوصل الإنسان إلى طرق تمكنه من استغلال خامات أفقر. لكن كل الدلائل تشير إلى أن من الحكمة أن تبنى سياسة استغلال الخامات المعدنية على عدم الإسراف وعلى تشجيع إعادة الاستغلال (Reclamation) كلما كان ذلك ممكناً.

وعند الحديث عن الخامات المعدنية يجب التفريق بين ما يدعى الاحتياطي Reserve وبين المورد Resource على إطلاقه. فالثاني هو كمية الخامات المعدنية الخاصة بمعدن ما في قشرة الأرض كما حددتها الأبحاث الجيولوجية. وهو ثابت لا يتغير مقداره ولا ينتظر أن ينفذ. أما الاحتياطي فهو ذلك الجزء من المورد الذي يمكن أن يعدن بالوسائل التكنولوجية السائدة وعلى نحو اقتصادي. وعلى هذا يمكن أن نقول أن بعض الاحتياطي معروف أو مؤكد وبعضه غير مؤكد ولكنه يقدر تقديراً وبذلك يكون حجم الاحتياطي متغيراً بحسب نشاطنا في التنقيب، وبحسب تقدم الوسائل التكنولوجية كما أنه يخضع لاعتبارات الأسعار والندرة وغير ذلك. وحين نتحدث عن خطر نضوب احتياطي العالم من الخامات المعدنية ونقدر فترة حياة كل منها، فإن المقصود بذلك هو عدد السنين التي نتوقع أن ينفذ بعدها الاحتياطي المعروف على أساس معدلات الاستهلاك الحالية.

ولا شك في أنه إن هبطت معدلات الاستهلاك أو ارتفعت الأسعار أو أدت جهود التنقيب إلى رفع قيمة الاحتياطي. فإن كل ذلك يزيد في عمر المعدن المقدر. وعلى عكس ذلك، فإن ارتفاع معدلات الاستهلاك يعجل بنفاذ المخزون، مع الإدراك بأن ما يقصد بالنفاذ هو تحول المعدن إلى صورة مطروحات غير مفيدة. لهذا فإن أي جهود ناجحة لإعادة الاستغلال ترفع من عمر الاحتياطي أيضاً وفي ما يلي الأعمار المقدرة لبعض خامات المعادن في العالم.

الأعمار المقدرة (بالسنين) لبعض خامات المعادن

الخام	الاحتياطي (ملايين الأطنان)	العمر المقدر (على أساس استهلاك 1981)
خام الألمنيوم (بوكسايت)	20.300	260
خام النحاس	505	65
الماس	620 (مليون قيراط)	20
الذهب	0.037	30
خام الحديد	108.000	410
خام الرصاص	165	48
خام المنغنيز	5.000	186
خام النيكل	54	76
خامات مجموعة البلاتين	0.037	176
خام الفضة	0.262	24
خام القصدير	10	40
خام اليورانيوم	4.3	طويل جداً
خام الخارصين	240	41
خام الأنتيمون	4.5	70
خام الكادميوم	0.7	39
خام الكروم	3.350	374
خام الكوبالت	3.1	116
خام الجرمانيوم	كبير جداً	طويل جداً
خام الموليبدينوم	9.8	97
خام التيتانيوم	660	138

وقد نجحت جهود إعادة الاستغلال في بعض البلدان أو فأصبح ما يقرب من نصف الحديد اللازم لصنع الفولاذ وحوالي ثلث الألمنيوم يأتي من المطروحات Scrap. وهذا من شأنه الاقتصاد في الطاقة إذ أن الحصول على طن من الألمنيوم من المطروحات يتطلب 5٪ فقط من الطاقة اللازمة لإنتاج طن من الألمنيوم بدءاً من البوكسايت.

ويُلجأ أحياناً للاستبدال للحفاظ على الخامات المعدنية، وقد يكون المقصود أصلاً أفضلية البديل وملاءمته. فقد استبدل الألمنيوم أو البلاستيك أو الزجاج مثلاً بالقصدير في صناعة المعلبات والتغليف. ولكن هناك من المعادن ما لا غنى عنه ولا بديل له أما البلاتين لا يجاري في قدرته على الحفز، والكروم ضروري لإنتاج الفولاذ المقاوم للصدأ، ولا يقوم بدوره أي معدن غيره.

استخلاص المعادن من خاماتها:

من المحتمل أنه كان للصدفة دور كبير في اكتشاف الذهب والفضة والنحاس والرصاص والحديد. فكثيراً ما يروى مثلاً أن بعض الرحالة أوقدوا ناراً أحاطوها بحاجز من التراب لدرء الهواء عنها وحين خمدت اكتشفوا وجود حبيبات من النحاس بين الرماد. وقد يكون ذلك أو ما يشبهه قد حصل في الحالات الأخرى، غير أن من المؤكد أن الكشف بالمصادفة دفع الإنسان إلى تجريب وتطوير للطريقة أورثه الناس لبعضهم جيلاً بعد جيل "فهو جزء من التكنولوجيا الموروثة.

وحين تطور علم الكيمياء وتقدم خلال القرن الماضي أخذت أسرار طرق الاستخلاص الموروثة تتضح وعرفت تفاصيلها.

ووجد أن العملية الأساسية في كل حالة هي تحويل المعدن من حالة الإتحاد مع عناصر أخرى في الخام المعدني إلى الحالة الحرة، وهذا في أساسه عملية اختزال. فتحويل أوكسيد الحديد Fe2O3 إلى الحديد يتطلب إزالة

الأوكسجين، وهو في الوقت نفسه تحويل الحديد من الحالة الأيونية Fe^{+3}، إلى الحالة الحرة Fe^{o} أي اكتساب الإلكترونات. وبشكل عام.

$$M^{+n} + ne^{-} \longrightarrow M$$

وقد يتم الاختزال، فعلاً على هذا النحو المباشر كما في تحضير الصوديوم بالتحليل الكهربائي:

$$Na^{+} + e^{-} \longrightarrow Na$$

أو قد يتم باستخدام مادة تشترك في تفاعل كيميائي يتم خلاله انتقال الالكترونات بطريقة غير مباشرة، كما في حالات استخدام الكربون لاختزال الأكاسيد.

$$ZnO_{(s)} + C_{(s)} \longrightarrow Zn_{(g)} + Co_{(g)}$$

وتحدد فاعلية المعدن الطريقة التي تختار لاستخلاصه، فإذا كان ذا فاعلية عالية (مثل الصوديوم) بحيث يميل بشدة إلى البقاء في حالة الاتحاد، فإن الاختزال بالطريقة الكيميائية قد لا ينجح، فيلجأ للتحليل الكهربائي. وعلى عكس ذلك المعادن ذات الفاعلية الأدنى التي تنجح معها طرق الاختزال الكيميائي. ومن ذلك الحديد والرصاص والخارصين، وحين تنجح الطريقة يجب أن يحول الخام المعدني إلى حالة تصلح لتطبيقها، كما رأينا في تحويل معظم الخامات الكبريتيدية إلى الاكاسيد.

والخام المعدني المستخرج من الأرض يكون غالباً مختلطاً مع كثير من المواد الصخرية. لذلك فمن أول العمليات التي تجري عليه اغناؤه بإزالة معظم الشوائب غير المعدنية بطرق مثل الطفو Flotation حين يعالج بالماء ومواد تحدث رغوة عند التقليب حيث ينتقل الخام المعدني مع الرغوة الطافية. وقد تشمل عملية استخلاص المعدن مراحل تتوقف على الوظيفة التي يُعَدُّ لها، فقد ينقى مثلاً إلى حد مناسب، وقد تضاف إليه مواد أخرى تكسبه بعض الخواص المرغوبة.

ولذلك نجد أن عمليات استخلاص المعادن Metallurgy قد تشمل ما يأتي:

أ) التركيز الأولي للخام المعدني.

ب) تحميص الخام المعدني لتحويله إلى حالة مناسبة، كبريتيد إلى أوكسيد مثلا.

ج) الاختزال.

د) التنقية النهائية وما يرافقها من إضافات ومعالجات خاصة.

عمليات التركيز الأولية:

من أول الخطوات في العمليات الأولى لمعالجة الخام المعدني هو أن تكسر القطع الكبيرة وتطحن لكي يسهل تناولها. ثم تتبع طريقة مناسبة لفصل الخام الفعلي عما يختلط به من تراب أو رمل وما شاكل ذلك. وهنا نجد أن الاختلاف في خواص المواد يفرض الطريقة، فقد يُعتمد على علو كثافة الخام المعدني الذي يرسب تاركاً الشوائب معلقة إذا خلط الجميع بالماء، أو أي سائل ملائم وقد يستفاد من قدرة المغناطيس على جذب دقائق الخام المعدني دون سواها. فيمرر المسحوق على شريط ناقل عبر مغناطيسات قوية تلتقط الخام المعدني وتترك الشوائب.

ومن طرق التركيز الشائعة طريقة الطفو أو التعويم Flotation.

عادة يوضع الخام غير المركز في الماء ثم يحرك المخلوط بشدة ويدخل إليه الهواء المضغوط. ويوضع مع المخلوط أصلاً بعض المواد الكيميائية التي تحدث رغوة فتتصل دقائق الخام المعدني بفقاعات الهواء في الرغوة وتبقى معها حين تصعد إلى السطح وتكشط من حافة الوعاء.

أما الشوائب فترسب إلى قعر الخزان. ويعتمد مبدأ طريقة التعويم على أن سطح دقائق الخام المعدني من النوع النافر من الماء hydrophobic أو أنها تصبح كذلك بامتزاز بعض المواد الكيميائية المضافة على سطحها فتقل قابليتها للانجذاب الماء.

وهـذه المواد عـادة تحتـوي في جزيئاتهـا علـى طـرف قطـبي يتصـل بـدقائق المعدن، وعلى جزء غير قطبي يبقى بارزاً نحو الماء، فهي في ذلك مثل الصابون أو المنظفات الصناعية. ومن أمثلة المواد المستخدمة في عمليات التعويم ايثيل زانثات البوتاسيوم. Potassium ethyl xanthate

$$S=C\begin{matrix} \diagup OCH_2CH_3 \\ \diagdown S^-K^+ \end{matrix}$$

وتوصف مثل هذه المادة بأنها ذات نشاط سطحي Surface – active agent. فالطرف السالب لها عند ذرة الكبريت يتصل مثلاً مع دقائق CU_2S في خام النحاس ويظل الطرف غير القطبي بارزاً ليحول دون اقتراب جزيئات الماء القطبية. فتجبر الدقائق بما تحمل على سطحها على الدخول إلى فقاعات الهواء في الرغوة التي تطفو لخفتها وتفصل.

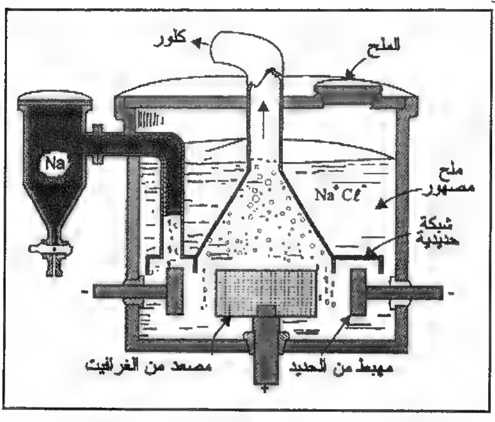
وبعد معالجة الخام المعدني لتركيزه على نحو مما ذكر. قد يكون في حالة لا تصلح للخطوات التالية كأن يكون مسحوقاً ناعماً. لذلك قد يعمد إلى كبس المادة لتصبح كرات صغيرة أو رقائق أو تسخن لكي تتلبد إلى قطع أكبر.

الصوديوم:

هو أهم العناصر القلوية من الناحية الاقتصادية. ومن أبرز استخداماته صنع سبيكة صوديوم – رصاص تستخدم في تفاعل مع كلوريد ايثيل لتحضير رباعي ايثيل الرصاص وهو المادة التي تضاف إلى الجازولين لمقاومة الطرق (antiknock agent).

$$4CH_3CH_2CL+4Na/pb \longrightarrow Pb(CH_2CH_3)_4+4NaCl+3pb$$

ويحضر الصوديوم بالتحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم في خلية تدعى خلية داون Down وفيها أنود من الجرافيت يحيط به كاثود أسطواني من الفولاذ.



ويوضع في الخلية مخلوط من Nacl (40٪) و $CaCl_2$ (60٪)، لكي تصبح درجة الانصهار حوالي 600° بدلاً من 800° وهي درجة انصهار كلوريد الصوديوم بمفرده. وهذا من شأنه أن يقلل من كمية الطاقة المستخدمة، كما أنه يحول دون تكاثر بخار الصوديوم ويجنب العملية أخطار ذلك. وبالإضافة إلى ذلك فإن درجة الحرارة الأدنى تضمن أن تقل ذائبية الصوديوم في المصهور. ولا يؤثر وجود أيونات الكالسيوم على نقاوة الصوديوم الناتج لأنه عند الظروف المستخدمة لا يختزل إلا قدر قليل من أيونات الكالسيوم.

على الكاثود $Na^- + e^- \longrightarrow Na$

على الأنود $2CL^- \longrightarrow 2e^- + CL_2$

ويطفو الصوديوم المصهور فوق سطح الالكتروليت، ويفصله عن المنطقة التي يظهر عليها الكلور حاجز من الفولاذ الشبكي.

المغنيسيوم:

يحضر معظم المغنيسيوم بالتحليل الكهربائي لكلوريد المغنيسيوم المصهور بعد خلطه مع كلوريدات أخرى. وتستخدم أقطاب من الجرافيت. ومعظم المغنيسيوم يؤخد من ماء البحر بترسيبه أولاً على صورة الهيدروكسيد الذي يحول بعد ذلك إلى الكلوريد. وقد يحول الدولوميت بالتسخين إلى أكاسيد (CaO. MgO) تضاف إلى ماء البحر لترسيب الهيدروكسيد وأحياناً يحول الهيدروكسيد إلى الأوكسيد MgO الذي يختزل عند 1200^{o} بسبيكة من السيليكون والحديد.

$$2MgO + Si \longrightarrow SiO_2 + 2Mg$$

ويدخل المغنيسيوم في عدد من السبائك مثل سبيكة دورالومين Doralumin مع الألمنيوم، وهي مهمة لصنع الطائرات. والمكون الرئيسي لسبيكة الدورالومين هو الألمنيوم، وتحتوي عادة على 1 – 7٪ من المغنيسيوم و1٪ من المنغنيز و0.5٪ من السيليكون ومثلها من الحديد والأخيران شوائب. وهناك أصناف مشابهة تحتوي على النحاس. وقيمة هذا النوع من السبائك أنه يجمع المتانة إلى خفة الوزن ومقاومة التآكل، لذلك انتشرت في صناعة أجسام الطائرات، وتصنع منها كذلك بعض القوارب السريعة. وهي تشكل على البارد إلى صفائح وشرائط وقطع كبرشام الربط (Rivet) وتزداد متانتها بالتقادم. ولكنها لا تحتفظ بالمتانة إذا سخنت فوق 150^{o}، لذلك لا تصلح لصنع أجزاء الآلة المحركة كالمكابس مثلاً.

الألمنيوم:

يلي الألمنيوم الحديد في حجم الإنتاج، فيبلغ الإنتاج العالمي السنوي حوالي خمسة عشر مليون طن. ومعظم هذه الزيادة تمت بسرعة بعد الحرب العالمية الثانية. وللإلمنيوم ميزات منها أنه تصنع منه سبائك تصل إلى متانة الصلب اللين. لكن كثافتها ثلث كثافته فقط. كذلك يقاوم الألمنيوم التآكل لأن سطحه يتغطى عند التعرض للهواء بطبقة من الأوكسيد تقيه من استمرار فعل العوامل الجوية. ويمكن تحسين هذه الطبقة بالوسائل الكهربائية بأن يتخذ الألمنيوم أنوداً في الكتروليت هو حامض الكبريتيك المخفف حيث يتكون عليه الأوكسجين، وتكون الطبقة الناشئة بالتأكسد أسمك وأكثر نعومة وبريقاً. ويمكن أن يطلى الألمنيوم المعالج بهذه الطريقة إلى ألوان جميلة، وذلك كما في بعض أدوات المطبخ الحديثة، أو في الالمنيوم المستخدم في البنايات.

وتصنع من سبائك الالمنيوم أجسام الطائرات، كما يألف الكل استخدامه في رقائق الالمنيوم المستخدمة في المطبخ. وقد أخذ الإلمنيوم مكان النحاس في الأسلاك المستخدمة لنقل التيار الكهربائي ذي الضغط العالي. وهو أخف من النحاس وأفضل توصيلاً منه.

رخام الإلمنيوم هو البوكسايت أو الأوكسيد المماه، وهو منتشر في المناطق المدارية من العالم (أغنى بلد به استراليا)، وهو يوجد عادة قرب السطح، وتشمل عملية استخلاص الإلمنيوم تنقية الخام من الشوائب بأن يسخن مع محلول هيدروكسيد الصوديوم فيتفاعل متحولاً إلى ألومينات الصوديوم الذائبة.

$$AL_2O_{3\,(s)} + 2NaoH_{(aq)} + 3H_2O_{(L)} \longrightarrow 2NaAl(oH)_{4\,(aq)}$$

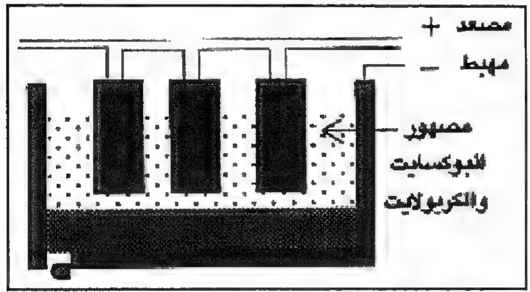
وتنفصل الشوائب الرملية والطينية بالترشيح. وهذا الطين ذو اللون الأحمر والذي يحتوي على بعض الأكاسيد المعدنية مشكلة بيئية. إذ أن التخلص منه بإلقائه في البحر يهدد الحياة المائية، أما إذا ألقي في مواقع فوق الأرض فإنه بعد جفاف الماء يتحول إلى مصدر للغبار الضار.

يبرد محلول الألومينات ويدفع إلى التبلور ببذر بعض بلورات الأوكسيد المماه، ويفصل عن الماء، ويسخن للحصول على الأوكسيد اللامائي.

وليس من السهل اختزال الأوكسيد بالطرق الكيميائية، وإنما بالتحليل الكهربائي للمصهور الذائب في الكريوليت وهو سداسي فلورو ألومينات الصوديوم Na_3ALF_6 عند 900^o ويجري التحليل الكهربائي باستخدام أقطاب من الجرافيت، فالأنود قطع من الجرافيت والكاثود طبقة من الجرافيت تبطن الخلية. ويقوم التيار الكهربائي بمهمة تسخين المخلوط وصهره ثم يتم التحليل الكهربائي بتفاعل الكاثود والأنود وهما.

$$2O^{-2} \longrightarrow O_2 + 4e^- \quad , \quad AL^{+3} + 3e^- \longrightarrow AL$$

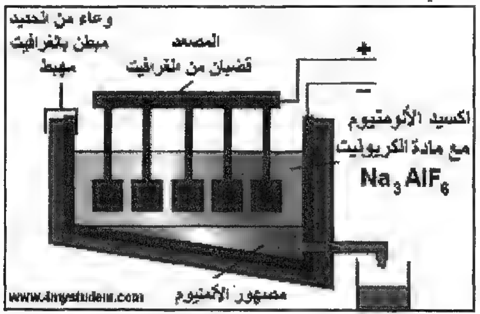
ويتجمع الألومنيوم المصهور تحت الإلكتروليت حيث يمر إلى الخارج من فتحات جانبية، وتحترق الأنودات في الأوكسجين ويتكون أول أوكسيد الكربون، ولذلك يجب أن تستبدل بها أنودات أخرى بين حين وآخر.



وتستهلك العملية 15000 كيلو واط ساعة من الطاقة الكهربائية لكل طن من الالمنيوم، ولذلك لا تجري إلا حيث تتوافر الطاقة الكهربائية بتكاليف مقبولة. ولذلك نجد أحياناً العمليات الثلاثة لاستخلاص الالمنيوم لا تجري كلها معاً في نفس الموقع. ويحدد ذلك عوامل الطاقة والنقل والتخلص من النفايات،

مفاعل النقل مثلاً مهم لأن طناً من الالمنيوم ينتج من خمسة أطنان من البوكسايت.

ويصاحب استخلاص الالمنيوم خطر بيئي آخر وهو تصاعد الفلور من الخلايا. وهو سام وأكال، لذلك يجب أن تراقب العملية بدقة بالغة، وأن تتبع الوسائل التي تضمن تقليل احتمال تصاعد الفلور أو معالجة الغازات للتخلص منه.



الحديد:

منذ مئات السنين والحديد يصنع من الأوكسيدين Fe3O4 و Fe2O3 باختزالهما بالكربون. وفي بداية الأمر كان ذلك يتم بتسخين الخام في نار من الفحم النباتي توقد في حفرة غير عميقة ولم تكن درجة الحرارة تصل إلى حد صهر الحديد الناتج، فكان يظهر على هيئة قطعة اسفنجية مغطاة بالرماد، يلتقطها الصانع ويطرقها ليشكل منها الأداة المطلوبة، وعملية الطرق هذه كانت كفيلة بإخراج الشوائب منها.

وفي القرن الخامس عشر استخدم الفرن اللافح (Blast furnace). وقد كان في صورته الأولى، التي يعتقد أنها اكتشفت في بلجيكا حوالي عام 1400، يستخدم الفحم النباتي أيضاً وكان الهواء ينفخ من أسفله من فتحات على كل منها كوريدار بطاحونة مائية، وكانت درجة الحرارة ترتفع إلى حد يصهر الحديد فيسيل إلى قعر الفرن، وأثناء ذلك كان يذيب بعض الكربون وكان الصهير يخرج في قناة محفورة في الرمل ثم يتفرع من هذه القناة الرئيسية في قنوات فرعية أخرى ليبرد إلى مادة قاسية هشة دعيت باسم حديد السكب Castiron. أو (حديد الزهر) وقد أدى استخدام الفحم النباتي في إنتاج الحديد إلى القضاء على كثير من أشجار الغابات، لذلك فإن التحول لاستخدام الكوك في أوائل القرن الثامن عشر كان تحولاً مهماً، وكثيراً ما يقرن ببدء النهضة الصناعية. وبالإضافة إلى عامل الاختزال وهو الكربون في صورة الفحم النباتي أو الكوك، استخدم الحجر الجيري للتخلص من الرمل والأوساخ الأخرى المختلطة مع خام الحديد بتحويلها إلى سيليكات الكالسيوم، وهو الخبث الذي كان يطفو فوق سطح الحديد المصهور.

$$CaCO_{3\,(s)} + SiO_{2\,(s)} \longrightarrow CaSiO_{3\,(L)} + CO_{2\,(g)}$$

وقد جرت على العملية تحسينات عديدة منها تسخين الهواء قبل دفعه إلى الفرن، ثم استخدام الغازات المنطلقة من الفرن لتحرق ويسخن بها الهواء والفرن اللافح الحديث هو اسطوانة من الفولاذ ارتفاعها حوالي 60 متراً وقطرها حوالي عشرة أمتار، مبطنة بالطوب الحراري. ويضاف مخلوط الخام والكوك وحجر الجير باستمرار من قمة الفرن على مرحلتين، بحيث يزاح السداد عن إحدى الفتحتين وتبقى الثانية مغلقة وذلك لمنع تسرب الغازات من القمة.

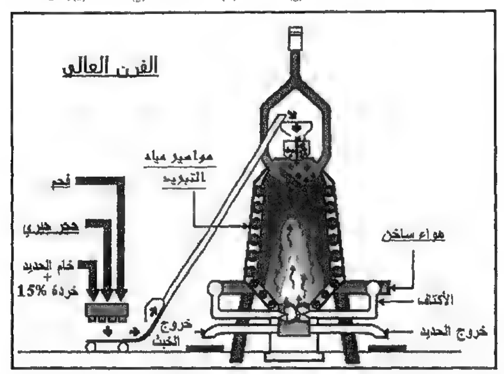
وينفخ من أسفل الفرن، عبر أنابيب حول محيطه، تيار من الهواء الساخن يلتقي مع المخلوط المسحوق أثناء هبوطه فيحد من سرعة الهبوط ويتيح للتفاعلات وقتاً لكي تتم.

ويختزل أوكسيد الحديد بواسطة الكربون في الجزء الأسفل حيث تبلغ درجة الحرارة أكثر من 1500°، لكن قسماً منه يختزل في الأجزاء العليا بواسطة أول أوكسيد الكربون الذي ينتج باحتراق بعض الكربون الساخن عند مرور الهواء الساخن خلاله.

$$Fe_2O_{3(s)} + 3C_{(s)} \longrightarrow 2Fe_{(L)} + 3Co_{(g)}$$

$$2C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2Co_{(g)}$$

$$Fe_2O_{3(s)} + 3Co_{(g)} \longrightarrow 2Fe_{(L)} + 3Co_{2(g)}$$



ويتوافر الحديد في قشرة الأرض، وتصل نسبته فيها إلى نحو 5٪، ولا يسبقه في ذلك إلا الألومنيوم الذي تصل نسبته في قشرة الأرض إلى نحو 8٪. ونادراً ما يوجد فلز الحديد في حالته الحرة، ويغلب أن يوجد على صورة بعض أكاسيده مثل الهيماتيت والليمونيت والمجنتيت، ويوجد الحديد في دم الفقاريات في الهيموغلوبين وهو المسؤول عن نقل الأكسجين من الرئتين إلى جميع خلايا الجسم. ولهذا يعد الحديد من أهم الفلزات بالنسبة لحياة الإنسان، وإذا قلت نسبته في جسم الإنسان، قيل أنه مصاب بالأنيميا.

الصلب:

يتم تحويل 90٪ من حديد الزهر المنتج عالمياً إلى صلب، وذلك بالتخلص مما بحديد الزهر من شوائب وتقليل نسبة ما به من كربون.

ويتم تحويل الحديد إلى صلب بعدة طرق. تعرف أحداها بإسم "طريقة بسمر" نسبة إلى مبتكرها "هنري بسمر Henry Bessemer"، وهو ألماني الجنسية أصلاً ثم تجنس بالجنسية الإنجليزية. وقد وصف هذه الطريقة نفسها رجل أمريكي يدعى "وليم كيلي" عام 1851، ولكن بسمر اشترى منه حقوقها كاملة، وأدخل عليها بعض التحسينات ولذلك عرفت بأسمه.

وتتلخص هذه الطريقة في صب الحديد الزهر المنصهر في محول خاص له شكل الكمثرى يعرف باسم "محول بسمر"، مبطنة جدرانه بالطوب الحراري والجير، ويدفع من قاعه تيار من الهواء الساخن تحت ضغط مرتفع. ويؤدي الهواء الساخن إلى إحراق ما بالحديد من شوائب فيتطاير الشرر من قمته مع بعض الأبخرة البنية ثم تتلون هذه الأبخرة المشتعلة بلون أصفر دليلاً على احتراق ما بالحديد من منجنيز وسليكون ثم يتحول اللهب بعد ذلك إلى اللون الأبيض دليلاً على احتراق الكربون.

وعندما يتوقف تصاعد اللهب من قمة المحول، يصب الصلب الناتج في بوارق خاصة على هيئة كتل تُعرف باسم Ingots ويطلق عليها أحياناً اسم تماسيح والصلب الناتج من هذه العملية يخلو من المنجنيز والسليكون، ولكنه يحتوي على بعض الفوسفور والكبريت وقليل من الكربون، وهو يتميز بسهولة قطعه وتشغيله وبقابليته للحام.

وهناك طريقة أخرى لإنتاج الصلب تعرف باسم طريقة "الفرن المفتوح" وابتكرها الألماني "كارل ولهلم سيمنس Karl Willhelm Simens" عام 1856. وهي تتلخص في شحن الحديد وبعض الحجر الجيري في فرن مكشوف تتعرض أرضيته للغازات الساخنة الناتجة من حرق الوقود، وتصل درجة الحرارة فيه إلى

نحو 1600°م. وتستعمل هذه الطريقة حالياً في صنع أغلب أنواع الصلب في كثير من الدول وهي تصلح لتحويل حديد الزهر وحديد الخردة مثل هياكل السيارات وغيرها إلى صلب.

كذلك تصنع أنواع من الصلب المحتوية على نسبة عالية من الفلزات الأخرى بطريقة الفرن الكهربائي، وفيها يصهر الصلب بواسطة أقطاب كهربائية من الكربون، وتصل درجة الحرارة في هذا الفرن إلى نحو 1800°م، وتقل نسبة الاكسجين في الصلب الناتج.

وهناك طريقة تعرف باسم طريقة فرن الاكسجين وتعرف كذلك باسم طريقة L.D وهي الأحرف الأولى من أسماء مبتكريها النمساويين "لنز ودوناوتز" " Linnz of Donewitz " ويستعمل فيها محول مثل محول بسمر، ولكن يدفع فيها تيار من الاكسجين فوق سطح الحديد لحرق كل الشوائب، والصلب الناتج منها لا يحتوي على النيتروجين وبذلك تكون صفاته أفضل من صفات صلب بسمر، لأن النيتروجين يجعل الصلب هشاً في بعض الأحيان.

وهناك طريقة تعرف باسم "طريقة الضغط المخلخل" ويصهر فيها الصلب تحت الضغط المخلخل لإزالة ما به من غازات، ثم يصب الناتج في غرفة مخلخلة الضغط فيتحول إلى كريات خالية تماماً من الغازات، وهي تعطى عند تجمعها نوعاً من الصلب له صفات طبيعية وميكانيكية جيدة، ولذلك يستعمل هذا الصلب في صنع أعمدة المرفق في النوربينات، وفي صنع كريات الصلب المستعملة في صنع كراسي المحاور، كما تصنع منه أيضاً بعض أجزاء الطائرات وفي سفن الفضاء التي تتعرض لظروف تشغيل قاسية.

ويتم حالياً إنتاج أنواع خاصة من الصلب تتنوع صفاتها وخواصها. وتستخدم في كثير من الأغراض من بينها:

1) صلب غير قابل للصدأ :

يحتوي على نسبة من الكروم تجعله غير قابل للصدأ ، يستخدم في صناعة الأدوات الجراحية وبعض الأدوات المنزلية ، كما تصنع منه بعض المعدات الصناعية المقاومة للأحماض.

2) صلب التنجستن:

يحتوي على كمية قليلة من فلز التنجستن، يتميز بدرجة انصهاره العالية وكذلك بمتانته حتى قرب درجة انصهاره، ولذلك فهو يستخدم في صنع آلات القطع والحفر وآلات المناجم، كما تصنع منه بعض المغنطيسات.

3) صلب المنجنيز:

الصلب المحتوي على نسبة صغيرة من فلز المنجنيز (1 – 2٪)، يتصف بمتانته وصلابته. وإذا زادت كمية المنجنيز إلى 12٪ يتكون صلب عالي الصلابة ويقاوم البرى، ولذلك فهو يستخدم في صنع أسنان آلات الحفر وفي صنع قضبان السكك الحديدية.

4) صلب النيكل والكروم :

وجود النيكل في الصلب يقلل من قابليته للتمدد بالحرارة، أما وجود الكروم والنيكل معاً في الصلب فيزيد من صلابته. ولذلك تصنع منه هياكل الدبابات وخوذات الجنود التي لا تخترقها القذائف.

5) صلب الكوبلت:

صلب يتحمل درجات الحرارة العالية وتصنع منه آلات القطع وبعض أجزاء التوربينات الغازية ، وبعض أجزاء الطائرات النفاثة وغيرها وهو صلب لا يصدأ .

6) **صلب الفناديوم والمولبدنيوم:**

صلب يتميز بقدرته على تحمل العمل الشاق، وتصنع منه بعض القضبان والزنبركات وآلات الحفر التي تتعرض لصدمات عنيفة.

النحاس:

فلز أحمر اللون، وزنه الذري 63، وينصهر عند 1083°م. عرفه الإنسان منذ ما قبل التاريخ، وصنع منه مع القصدير سبيكة البرونز التي صنع منها الإنسان أدواته المختلفة في العصر القديم الذي سمي بعصر البرونز.

ويندر أن يوجد النحاس حراً، ولكنه يوجد على هيئة الأكسيد أو الكبريتيد، وهو يستخلص من الكبريتيد بواسطة الفرن العاكس Reverberatory، حيث تنعكس حرارة الوقود من سطح الفرن إلى ما به من كبريتيد النحاس الذي ينصهر ثم يفصل عن الخبث، وينقل بعد ذلك إلى محول خاص ثم يمرر فيه تيار من الهواء لأكسدة الكبريت ويتبقى فلز النحاس المنصهر. ويمكن تنقية النحاس بتعليق شرائح منه في القطب الموجب لخلية تحليل كهربائي ثم يمرر بها التيار فيترسب النحاس النقي على القطب السالب بها.

والنحاس فلز متوسط النشاط الكيميائي، وهو يتأكسد في الهواء الرطب إلى مادة خضراء تعرف باسم "جنزارة النحاس" وتتكون من كربونات النحاس القاعدية. ويدخل النحاس في صنع كثير من السبائك، مثل سبيكة برونز الألومنيوم، وبرونز المنجنيز، والصفر، والفضة الألمانية، وسبائك الذهب مختلفة العيار، كما يستخدم في صنع حروف الطباعة. كذلك يستعمل النحاس في الطلاء بالكهرباء، وفي صنع الأنابيب وأسلاك الكهرباء، وفي سك النقود وصنع الحلي وبعض أدوات الطهي، كما تستخدم بعض مركباته في صنع بعض الأدوية والمبيدات وأنواع من الطلاء.

وتوجد آثار من النحاس في أجسام بعض الكائنات الحية، وهو عنصر هام في دم القواقع والقشريات. ومركبات النحاس سامة، ولذلك تطلى أدوات الطهي النحاسية بطبقة من القصدير لعزل الطعام عن النحاس، وهي العملية التي نسميها "تبييض النحاس" حيث يتحول لون النحاس الأحمر إلى لون القصدير الأبيض.

الرصاص:

فلز رمادي اللون، وزنه الذري 207، وينصهر عند 327°م، عرفه الإنسان منذ قديم الزمان واستخدمه الرومان في صنع أنابيب المياه.

وأهم خامات الرصاص هو كبريتيد الرصاص المعروف باسم "الجالينا" ويحضر منه فلز الرصاص بتحميصه أولاً بالحرارة لإزالة مابه من كبريت، ثم اختزاله بالفحم في الفرن اللافح أو الفرن المكشوف. ويحتوي مصهور الرصاص عادة على بعض الفلزات الأخرى، مثل الذهب والفضة والبلاتين وبعض النيكل والكوبلت، ويتم استعادة هذه الفلزات الثمينة بطرق خاصة وتصل نقاوة الرصاص إلى نحو 99.7٪.

ويستخدم الرصاص في صناعة البطاريات السائلة، وفي صنع بعض السبائك مثل الصفر (النحاس الأصفر)، والبرونز، وسبائك اللحام، كما يدخل في صناعة الذخائر وحروف الطباعة، ومحاور بعض الآلات، وتصنع منه ألواح للحماية من الإشعاع، ورقائق لتكسية بعض السطوح والقباب. كما تصنع منه بعض الأنابيب.

والرصاص هو الناتج النهائي في عمليات الأضمحلال الإشعاعي، ولهذا فهو يستخدم في تأريخ الصخور والمعادن في قشرة الأرض، أما مركبات الرصاص فتستخدم في صناعة الزجاج والمطاط وأنواع من الطلاء. كما يضاف رابع ايثل الرصاص إلى الجازولين لمنع الدق في آلات الاحتراق الداخلي. ومركبات الرصاص عالية السمية. وهي تؤثر على الجهاز العصبي المركزي وعلى الجهاز الهضمي وعلى حركة العضلات.

الزنك:

فلز أبيض وزنه الذري 65، وينصهر عند 419°م، عرفه الإنسان منذ زمن بعيد، وهو يوجد في قشرة الأرض بتركيز متوسط وبكميات قليلة في مياه البحار.

ولا يوجد الزنك حراً في الطبيعة. وأهم معادنه "السفاليريت Sphalerite" ويتم تركيز هذه الخامة أولاً حتى تصل نسبة الزنك بها إلى نحو 50٪، ثم تحمص بالحرارة، وتقطر في معوجات من الطفل أو الكربورندوم، وتكثف أبخرة الزنك المتصاعدة، وتنقى مما بها من شوائب مثل الرصاص والكادميوم. ويمكن تحضير الزنك بإذابة خامته في حمض الكبريتيك، ثم يمرر في المحلول تيار كهربائي فيترسب الزنك النقي على الكاثود.

ويستعمل الزنك في صنع بعض السبائك مثل الصفر والبرونز وسبائك اللحام وبعض السبائك ذات درجات الانصهار المنخفضة، كما يستعمل في صنع سبائك الفوسفور وفي تغطية سطوح الفلزات كما في عملية "الجلفنة". وتستعمل مركبات الزنك في الطب وفي صنع بعض مستحضرات التجميل، وبعض أنواع من الطلاء، كما يستعمل بعضها في عمليات التحليل الكهربائي. وللزنك دور هام في نمو النباتات.

الذهب:

فلز اصفر لامع، وزنه الذري 197، وينصهر عند 1063°م. وغالباً ما يوجد الذهب حراً في الطبيعة، ولكنه لا ينتشر في قشرة الأرض، وقد يوجد في مجاري الأنهار الضحلة، أو في عروق الكوارتز، أو في خامات الفضة والنحاس والرصاص. ويستخلص الذهب مما به من شوائب بواسطة الألغام، أي بالإتحاد مع الزئبق ثم يسخن الملغم المتكون في بوادق من الحديد، فيتقطر الزئبق تاركاً خلفه كتلة إسفنجية لامعة من الذهب، وقد يستخلص الذهب بطريقة السيانيد،

فيعالج الذهب فيها بمحلول سيانيد البوتاسيوم، ثم يرسب منه بواسطة الزنك. وقد استعمل الذهب في سك النقود. وهو يعد حالياً مقياساً لحركة النقد العالمية ورمزاً لقوة اقتصاد الدولة التي تملكه كغطاء لنقدها. كذلك يستخدم الذهب في صنع الحلي وفي طب الأسنان، وفي الجراحة، وفي صنع الإبر الصينية، وبعض أجزاء من الأجهزة الإلكترونية، وكذلك في الطلاء بالكهرباء لمقاومته العالية للتأكسد والصدأ. ويستخدم نظير الذهب المشع في علاج الأورام. وقد عرف الذهب منذ زمن بعيد، فقد استخرجه المصريون القدماء من باطن الأرض منذ نحو 5000 سنة، وصنعوا منه بعض الحلي وبعض أقنعة الموتى، مثل القناع الذهبي لتوت عنخ آمون.

القصدير:

فلز أبيض، وزنه الذري 118، وينصهر عند 232°م، عرفه الإنسان منذ زمن بعيد، وخامته الرئيسية "الكاسيترايت" يدخل في تكوين كثير من السبائك مثل الصَفر، والبرونز، وسبائك حروف الطباعة وسبيكة اللحام كما يستعمل في تكسية سطوح الفلزات لحمايتها من التأكسد، وفي صناعة النسيج والزجاج وبعض مساحيق الصقل والتلميع.

النيكل:

فلز أبيض، وزنه الذري 58، وينصهر عند 1455°م، لا يوجد حراً في الطبيعة ويوجد مختلطاً بالحديد في مركز الأرض، كما يوجد حراً في النيازك التي تسقط على سطح الأرض من الفضاء الخارجي. يستعمل النيكل في كثير من الصناعات الكيميائية وفي الطلاء بالكهرباء، وفي سك النقود، كما يستخدم في صنع الحلي وفي بعض المعدات الكهربائية وهو يدخل في تركيب كثير من السبائك فيعطيها نوعاً من الصلابة ويزيد من مقاومتها للصدأ والتآكل، ويزيد كذلك من قدرتها على توصيل الكهرباء.

الكروم:

فلز رمادي اللون، وزنه الذري 52، وينصهر عند 1890°م، مصدره الرئيسي خامة الحديد والكروم. يستعمل في الطلاء بالكهرباء، لأنه يعطي سطحاً لامعاً ولا يقبل التأكسد، كما يستعمل في صنع الصلب فيزيد من صلابته كما يجعله غير قابل للصدأ.

البلاتين:

فلز أبيض، وزنه الذري 195، وينصهر عند 1769°م، ويوجد عادة حراً في الطبيعة ولكنه نادر إلى حد ما. يستعمل البلاتين حافزاً في كثير من التفاعلات الكيميائية وخاصة في تفاعلات الاختزال، وتستعمل سبائكه مع بعض الفلزات الأخرى في صنع المغنطيسات، وبعض المعدات الكهربائية والإلكترونية، وكذلك في صنع الأوزان القياسية التي تستعمل في التحليل الرقمي. وفي صنع المقاييس العيارية وبعض أدوات الجراحة والآلات الدقيقة. ويستخدم البلاتين في صنع الحلي وفي الطلاء بالكهرباء، وفي صنع بعض الأجهزة التي تتعرض لدرجات حرارة عالية. لارتفاع درجة انصهار الفلز ومقاومته العالية للتأكسد.

الكوبلت:

فلز رمادي مشرب ببعض الحمرة، وزنه الذري 59. وينصهر عند 1495°م ويوجد في بعض المعادن على هيئة كبريتيد أو أرسنيد. ويستعمل في صنع أدوات الجراحة وبعض أدوات القطع الحادة. وتستعمل أملاحه في تلوين الزجاج والبورسلين باللون الأزرق، كما يستعمل نظيره المشع في التشخيص الإشعاعي وفي علاج الأورام الخبيثة.

المنجنيز:

فلز أبيض رمادي. وزنه الذري 55، وينصهر عند 1245°م. ينتشر وجوده في قشرة الأرض وخامته الرئيسية هي البايرولوزيت وسبائك المنجنيز مع النحاس والنيكل لها أهمية خاصة في الصناعة، ويستعمل المنجنيز في صنع أنواع خاصة من الصلب، على حين يستخدم اكسيده في عمليات الأكسدة، وفي تلوين الزجاج والحراريات.

الفضة:

فلز أبيض وزنه الذري 108، وينصهر عند 960°م، عرف الإنسان الفضة منذ زمن بعيد، وقد يوجد الفلز حراً أو متحداً بغيره من العناصر في خامات الذهب، والرصاص والنحاس، والزنك، والنيكل، كما يوجد في معادن الأرجنتايت والسيرارجيزايت. وتستعمل سبائك الفضة في سك النقود، وفي صنع الحلي، وفي الطب، كما تستخدم الفضة مع غيرها لصنع أنواع خاصة من الصلب، وفي صناعة المرايا، وتصنع منها أدوات المائدة مرتفعة الثمن. وتستعمل بعض أملاح الفضة مثل بروميد الفضة في التصوير الضوئي.

الزئبق:

فلز له لون الفضة، وزنه الذري 200، وهو سائل رجراج في درجات الحرارة العادية، ويتحول إلى مادة صلبة كالفضة عند تبريده إلى – 39°م.

عرفه الإنسان منذ زمن بعيد ولكنه نادر الوجود. خامته الرئيسية هي كبريتيد الزئبق المعروف باسم "سنابار". يكون الزئبق سبائك مع كثير من الفلزات تعرف باسم "الملغمات" وهو يستعمل في المعامل في أجهزة قياس الضغط، وفي الطب في حشو الأسنان، كما يستخدم في صنع مصابيح الزئبق وفي استخلاص الذهب والفضة من خاماتهما.

وكذلك يدخل الزئبق في صنع أنواع من الصابون الطبي وفي بعض المراهم. وتستعمل مركبات الزئبق في كثير من الأغراض. فيستخدم بعضها في صنع مبيدات الحشرات ومبيدات الفطريات. ويدخل بعضها الآخر مثل فلمنات الزئبق في صنع الذخائر.

ومركبات الزئبق شديدة السمية، وهي تؤثر على الجهاز العصبي المركزي كذلك يجب تجنب ملامسة الزئبق أو استنشاق أبخرته.

فلزات هامة أخرى:

هناك فلزات أخرى كثيرة لها أهمية خاصة في بعض الصناعات فيستعمل المولبدنيوم مثلاً في صناعة أنواع خاصة من الصلب تستخدم في صنع الغلايات ومواسير البنادق كما يدخل في صنع بعض صمامات الراديو والأجهزة الإلكترونية.

كذلك الزركونيوم فلز يقارب الصلب في متانته، وهو يقاوم الأحماض، وتصنع منه آلات الثقب. كما يستخدم في صنع الزجاج المقسى وبعض معدات المحطات النووية والتيتانيوم كذلك في متانة الصلب، ويدخل في صنع كثير من السبائك وفي صنع محركات النفاثات، كما يستعمل أكسيده في صنع الطلاء الأبيض.

ويكون التنجستن مع الحديد سبائك شديدة الصلابة، تستعمل في صنع صفائح التدريع وآلات القطع، كما تصنع منه أسلاك المصابيح الكهربائية، أما الفناديوم فيدخل في التكنولوجيا النووية وفي صناعة الصلب، كما يستخدم الكادميوم في صنع السبائك ذات درجات الانصهار المنخفضة، وفي صنع البطاريات، وأشباه الموصلات والشاشات الفلورية.

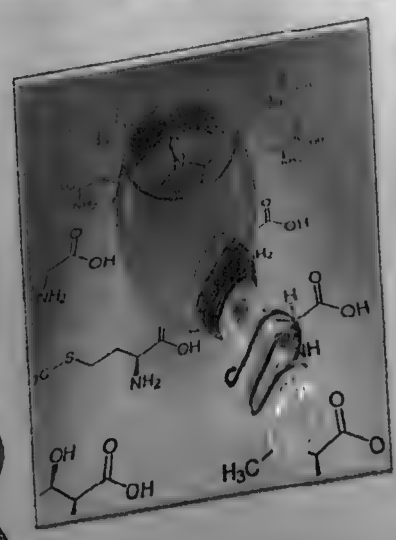
ويستخدم الكالسيوم في صناعة الأسمنت والزجاج ومعاجين الأسنان، كما يدخل في تركيب العظام والأصداف، وهو يكون نحو 2٪ من وزن جسم الإنسان.

وقد استعمل الجرمانيوم حديثاً في صناعة الترانزستورات التي تدخل في تركيب أجهزة الراديو والتلفزيون وبعض الأجهزة الإلكترونية الأخرى.

وهكذا نجد أن الفلزات، حتى تلك التي لم تُذكرَ هنا. لها أثر كبير في حياة الإنسان فقد ساعدته في تقدمه العلمي والحضاري كما ساعدته السبائك الناتجة منها على ارتياد مجالات جديدة لم يكن من الممكن ارتيادها من قبل، مثل مجالات استكشاف الفضاء بواسطة الصواريخ وسفن الفضاء، وصناعة الحاسبات الآلية وبعض الأجهزة الإلكترونية الأخرى بالغة التعقيد، كما ساعدته كذلك على استخدام أساليب متقدمة في مجالات الصناعة والزراعة، وفي كل مناحي حياته اليومية.

الفصل الثالث

كيمياء إنتاج الطعام



3



الفصل الثالث

كيمياء إنتاج الطعام

دور الكيمياء في مجال الغذاء:

تعتمد كل الكائنات الحية في نموها على الغذاء، فهي إن لم تجد ما تأكله ماتت وفقدت حياتها. وأول من وضع تقسيماً للمكونات الرئيسية للطعام هو الكيميائي البريطاني "وليم براوت" "William Prout" عام 1827، فقد قسم الطعام إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

البروتينات كاللحم والبيض، والدهون مثل المسلى وزيت الطعام، والكربوهيدرات مثل السكر والنشادر والسليولوز.

وقد كان للكيمياء دور هام في اكتشاف تركيب هذه المكونات، وأدت الدراسات الكيميائية الحيوية التي أجريت عليها إلى فهم أكثر لطبيعة عمل جسم الإنسان، وإلى طرق أكثر تقدماً في تلافي الإصابة بالأمراض والحفاظ على صحة الإنسان.

الكربوهيدرات:

تبيَّن بالتحليل الكيميائي أن جزيئات المواد الكربوهيدراتية تتكون من ثلاثة عناصر هي الكربون والهيدروجين والأكسجين، وتبلغ نسبة العنصرين الأخيرين فيها 2: 1، أي بنسبة وجودهما في الماء. ولهذا سميت بالكربوهيدرات "أي هدرات الكربون". ويقسم الكيميائيون الكربوهيدرات إلى سكريات أحادية مثل الجلوكوز والفركتوز وتتكون جزيئاتها من ست ذرات من الكربون ($C_6H_{12}O_6$)، وإلى سكريات ثنائية مثل اللاكتوز والمالتوز والسكروز، ثم إلى عديدة السكريات التي تتكرر في جزيئاتها وحدات من السكريات الأحادية،

ومن أمثلتها النشاط والسليولوز الذي قد يصل وزنه الجزيئي إلى أكثر من 800.000.

ويعتبر الجلوكوز من أهم هذه المركبات، وهو يتكون في عملية التخليق الضوئي في النباتات ويعد من أهم مصادر الطاقة في جسم الإنسان. وتوجد هذه المواد الكربوهيدراتية في خلايا النباتات. فيوجد سكر الجلوكوز في العنب وسكر الفركتوز في كثير من الفاكهة وسكر اللاكتوز في اللبن، وسكر المالتوز في الشعير، وسكر السكروز في القصب على حين ينتشر النشا في بروتوبلازم الخلية على هيئة حبيبات ويوجد السليولوز في جدران هذه الخلايا وهو المسؤول عن تكوين هياكل النباتات.

وهناك نوع من النشا الحيواني يعرف باسم الجليكوجين، وهو يتكون عندما يستقبل الجسم كميات زائدة من السكر. ويخزن عادة في الكبد في العضلات.

وقد تتحد الكربوهيدرات مع بعض مكونات الخلايا الأخرى، فيتحد سكر الرايبوز مع الفوسفور وبعض القواعد العضوية ليكون الحمض النووي "RNA". كما يتحد سكر ديزوكسي رايبوز بنفس هذه المواد لتكون الحمض النووي "DNA" وهي الأحماض النووية المسؤولة عن نقل الصفات الوراثية في الكائن الحي.

ويحصل سكان العالم على نحو 70٪ من الطاقة اللازمة لأجسامهم وعملياتهم الحيوية من الكربوهيدرات، وهي تتوافر في كثير من النباتات مثل القمح والأرز والذرة والبطاطس والبنجر والقصب وغيرها.

الدهون:

تعرف الدهون كذلك باسم "الليبدات" "Lipids" وهي كلمة مشتقة من اللفظ "Lipos" ومعناها الدهن.

وقد تبين بالتحليل الكيميائي أن الدهون عبارة عن إسترات من بعض الأحماض الدهنية مع الجليسرين وتعرف باسم الجلسريدات، وقد تكون هذه الأحماض مشبعة أو غير مشبعة. ويغلب أن تتكون الدهون التي نأكلها من سلاسل من الكربون تحتوي على أربع ذرات منها أو على عشرين ذرة على الأكثر.

وعادة ما تكون الجلسيريدات الناتجة من اتحاد أحماض دهنية غير مشبعة أو بها عدد قليل من ذرات الكربون، على هيئة زيوت في درجات الحرارية العادية. وبصفة عامة يغلب أن تكون الدهون الحيوانية مشبعة لذلك فهي أصعب في الهضم من الزيوت النباتية.

ولا تذوب الدهون عادة في الماء ولكنها تنتشر في بروتو بلازم الخلايا على هيئة قطرات صغيرة جداً، وقد يذوب بعضها في سوائل الخلية عند اتحاده بجزيئات أخرى تربطها بالماء. والدهون تحمل كذلك بعض الفيتامينات التي تذوب فيها. وهي تسهل امتصاصها في الجسم.

وتعتبر الدهون مصدراً هاماً من مصادر الطاقة في الجسم أكثر من الكربوهيدرات والبروتينات، فالجرام الواحد منها يعطي عند احتراقه تسعة سعرات، على حين أن الجرام الواحد من الكربوهيدرات أو البروتينات يعطي أربعة سعرات فقط، ولكن الكربوهيدرات أسهل منها في الاحتراق ومن أمثلة الدهون النباتية زيت الزيتون وزيت بذرة القطن. وزيت الذرة وزيت عباد الشمس وزيت فول الصويا، أما الدهون الحيوانية فمن امثلتها المسلى وزيت السمك.

وهناك بعض الليبدات المركبة وهي دهون تتحد بغيرها من المواد مثل الفوسفوليبدات التي تحتوي في تركيبها على الفوسفور والنيتروجين وهي توجد في أنسجة الخلايا العصبية وهناك أيضاً اللايبوبروتينات وهي دهون متحدة بالبروتينات، وتوجد في نوى الخلايا وفي بعض جدرانها. كذلك تعتبر

الستيريدات من الليبدات المركبة، وهي تنتج في الكبد وتقوم بوظائف خاصة في الجسم، وبعضها مثل الستيرولات يعمل كهرمونات تنظم مختلف أنواع الأنشطة في الجسم.

$$\begin{matrix} CH_2OH & & HOOC-R & & CH_2O.CO.R \\ CHOH & + & HOOC-R & \xrightarrow{3-HOH} & CHO.CO.R \\ CH_2OH & & HOOC-R & & CH_2O.CO.R \end{matrix}$$

جلسرين — حمض دهني — جلسيريد (دهن)

البروتينات والأنزيمات:

تبين بالتحليل الكيميائي أن البروتينات جزيئات كيميائية عملاقة تتكون جزيئاتها باتحاد مجموعة من الأحماض الأمينية معاً بحيث تتحد مجموعة الأمين المحتوية على النتروجين في أحدها بمجموعة الكربوكسيل في الحمض الآخر، وهكذا تتكرر مجموعة الببتيد (-NHCO-) على طول سلسلة البروتين، وتتشابه كل البروتينات في هذه السلسلة الرئيسية التي تتكرر فيها رباطات الببتيد، ولكنها تختلف في طبيعة المجموعة الجانبية المتصلة بهذه السلسلة.

$$(-HN-\underset{R}{\overset{|}{CH}}-Co.\ NH.\underset{R'}{\overset{|}{CH}}.CONH.\underset{R''}{\overset{|}{CH}}.CO-)_n$$

(تتكرر السلسلة الرئيسية في كل البروتينات ولكنها تختلف بعضها عن بعض في طبيعة المجموعات الجانبية المتصلة بهذه السلسلة).

ولا تتشابه البروتينات بعضها مع بعض، فعدد الأحماض الأمينية التي تشترك في تكوينها يبلغ عشرين حمضاً أمينياً، والاحتمالات التي تترتب بها وحدات هذه الأحماض على طول السلسلة احتمالات تصل إلى الملايين، ولهذا فإن الاختلاف بين بروتين وآخر ينحصر في أمرين: نوع الأحماض الأمينية المكونة

للبروتين، وترتيب هذه الأحماض على طول السلسلة، وهو ما يعرف باسم "التركيب الأولي".

ويتحدد كذلك نشاط البروتين في الخلية بالوضع الفراغي لهذه السلاسل، فهي قد تنثني على نفسها في أوضاع خاصة بحيث لا يبقى منها مكشوفاً إلى الخارج إلا مجموعات بعينها هي التي تقوم بالعمل فقط، ويرجع التواء السلسلة إلى وجود رباط هيدروجيني بين ذرات النيتروجين والأكسجين في مجموعات الببتيد المختلفة. ويعرف هذا "بالتركيب الثانوي".

والبروتينات قد تكون بسيطة، أي تتركب من أحماض أمينية فقط، وقد تكون بروتينات مركبة، وذلك عندما تتصل بها مجموعات أخرى مثل الكربوهيدرات أو الدهون أو أحماض الفوسفور، وتقوم كل خلية بتصنيع البروتينات الخاصة بها.

فبروتينات خلايا الكلى مثلاً تختلف عن بروتينات خلايا العضلات لأن لكل منها وظيفة تختلف عن الأخرى.

وكانت أولى البروتينات التي عرفت هي البروتينات التركيبية مثل "الكيراتين" الذي يوجد في الأظافر وفي مخالب الحيوانات وفي ريش الطيور، وكذلك "الكولاجين" الذي يوجد في أوتار العضلات وفي الأنسجة الضامة وغيرها. كذلك تكون البروتينات جزءاً من الهيموجلوبين الذي ينقل الأكسجين إلى خلايا الجسم وكذلك "الإنسولين" الذي ينظم السكر في الجسم وبعض الإنزيمات التي تهضم الطعام.

والأنزيمات جزيئات بروتينية تعمل في الجسم مثل عوامل الحفز، فهي تساعد على إجراء التفاعلات دون أن تدخل فيها. وأول ما فصل من هذه الإنزيمات إنزيم "الدياستاز" ثم تم بعد ذلك فصل إنزيم "الببسين" من جدار المعدة، ثم إنزيم "اليورياز".

ويحدد تتابع الأحماض الأمينية في جزيء الإنزيم، وكذلك الطريقة التي تنثنى بها سلسلته وظيفة هذا الإنزيم، فلكل إنزيم تصنعه الخلية وظيفة بعينها لا

يحيد عنها ولا يتدخل في عمل غيره من الإنزيمات، والاختلاف في المحتوى الإنزيمي بين الخلايا هو السبب الحقيقي في أن بعض الخلايا تصبح خلايا عضلية وبعضها الآخر عصبية أو خلايا للكبد أو غير ذلك. وهو أيضاً السبب في أن تنمو بويضة مخصبة لتعطي حصاناً، على حين تنمو بويضة أخرى لتعطي كائناً بحرياً، لاختلاف ما بكل منها من إنزيمات، واختلاف التفاعلات التي تحفزها هذه الإنزيمات.

وقد بينت الدراسات أن نقص الكربوهيدرات والدهون في الجسم يؤدي إلى أكسدة جزيئات البروتينات للحصول على الطاقة، وبصفة عامة يحتاج الأطفال إلى كمية أكبر من البروتينات في أثناء نموهم، وتحتاج إليها السيدات في أثناء فترة الحمل.

الفيتامينات:

كان من المعتقد أن الطعام إذا احتوى على الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، وبعض الأملاح والماء. يعتبر غذاءً كافياً للاحتفاظ بصحة الإنسان. ولبناء أنسجة جسمه المختلفة. ولكن تبين عام 1909 أن الغذاء لابد أن يحتوي على عناصر أخرى هامة سميت باسم الفيتامينات وعرف فيما بعد أنها هي التي تحفز كثيراً من التفاعلات الكيميائية التي تدور في خلايا الجسم.

والفيتامينات مواد كيميائية ساعدت الكيمياء على اكتشاف تركيبها، وعلى تصنيع بعض منها في المعامل، ولكن ذلك لم يحدث إلا مؤخراً، فقد كانت هذه المواد مجهولة التركيب مدة طويلة من الزمان.

ويتسبب نقص الفيتامينات في الجسم في إصابة الإنسان بكثير من الأمراض مثل البلاجرا، والإسقربوط، والعشى الليلي، والكساح، كما أن هذا النقص يؤدي إلى تعرض الجسم للعدوى بالأمراض.

وقد عرف الناس هذه الظاهرة عندما لاحضوا منذ زمن بعيد أن عدم تناول الخضر الطازجة والفواكه، كما يحدث في أثناء الرحلات الطويلة للسفن، يتسبب في إصابة بحارة هذه السفن بمرض أطلقوا عليه اسم "الاسقربوط" وأنه لا يمكن الشفاء من هذا المرض إلا بتناول الخضر والفاكهة المحتوية على الفيتامينات.

ويعتبر الطبيب الهولندي "كريستيان أبيكمان" "Christian Eikman" من رواد دراسة الفيتامينات، وكان يعمل في إندونيسيا عام 1897 ولاحظ أن من يعتمدون في غذائهم على الأرز الذي نزعت قشرته يصابون بمرض يهاجم الجهاز العصبي عرف باسم "البرى برى"، وأنه يمكن الشفاء من هذا المرض بأكل الأرز دون نزع قشرته.

وفي عام 1912 أطلق الكيميائي البولندي "كاز يمير فونك" اسم الفيتامينات على هذه المواد الكيميائية الهامة التي لابد من توافرها في الغذاء لضمان صحة الإنسان، ومعنى هذا الاسم الامينات الحيوية، وإن كان قد تبين فيما بعد أن بعضها لا يمت للأمينات بصلة ولكن هذا الاسم ما زال مستعملاً للدلالة عليها حتى الآن.

ونظراً لعدم معرفة علماء الكيمياء بتركيب هذه المواد فيما مضى، فقد أطلقوا عليها أسماء مشتقة من الحروف الأبجدية، مثل فيتامين أ، وفيتامين ب، ولكن يفضل اليوم، بعد أن عرف التركيب الكيميائي لهذه المواد، إطلاق أسمائها الكيميائية عليها.

ولا يحتاج الجسم إلى قدر كبير من هذه الفيتامينات، ولكنه يحتاج إلى قدر ضئيل جداً منها للحفاظ على صحة الإنسان، ويتصور كثير من الناس خطأ أن استخدام كميات أكبر من الفيتامينات سوف يساعد على تحسين صحتهم وزيادة نشاطهم، ولكن هذا غير حقيقي، بل قد تكون له بعض الآثار الضارة على صحتهم.

وقد حددت "أكاديمية العلوم الأهلية الأمريكية" " U.S. National Academy of Science"

الكميات اللازم توافرها من الفيتامينات يومياً في طعام الإنسان، واستخدمت في تحديد هذه الكميات أوزان صغيرة مثل المليجرام (جزء من ألف جزء من الجرام) والميكروجرام (جزء من ميلون جزء من الجرام) والوحدات الدولية وهي تساوي واحداً على أربعين من الميكروجرام.

فيتامين أ Vitamin A :

يتكون جزيء فيتامين أ من عشرين ذرة من ذرات الكربون، وهو هام لصحة خلايا الجلد، ويؤدي نقصه في الجسم إلى نقص في الحيوية وإلى الإصابة بالعشى الليلي، وهو عدم الرؤية الجيدة في الضوء الخافت، ويعتبر مرضاً خطيراً بالنسبة لمن يقودون سياراتهم ليلاً.

وفيتامين أ لا يذوب في الماء ولكنه يختزن في الدهن، وأهم مصادره زيت كبد الحوت والزبد واللبن، ولا تحتوي النباتات على فيتامين أ ، ولذلك تخلو منه الخضر والفاكهة، ولكن بعض هذه النباتات تحتوي على مركبات الكاروتين التي تتحول في كبد الإنسان إلى فيتامين أ ، مثل الجزر والسبانخ والطماطم والخوخ والموز والكنتالوب.

والقدر اللازم من فيتامين أ يومياً لصحة الإنسان لا يزيد على 5000 وحدة دولية وعند تعاطي كميات كبيرة منه تحدث للإنسان بعض الأعراض المرضية مثل الصداع والشعور بالغثيان والإصابة بالحساسية وتضخم الكبد والطحال، وقد يؤدي ذلك في بعض الحالات إلى سقوط الشعر والإحساس ببعض الآلام الروماتيزمية.

فيتامين ب المركب Vitamin B complex:

فيتامين ب المركب عبارة عن مجموعة من المواد سهلة الذوبان في الماء، ورغم عدم تشابهها في التركيب الكيميائي إلا أنها تقوم بنفس العمل في الجسم تقريباً، وهي غالباً ما توجد معاً في الغذاء، وهي الثيامين (B_1)، ودايبو فلافين (B_2)، ونياسين (حمض نكوتنيك)، وبايريدوكسين (B_6)، وحمض بانتوثنيك، وبيوتين، وحمض فوليك، وسيانوكوبالامين (B_{12}).

الثيامين فيتامين Thiamine B_1:

يختزن الثيامين في الكبد والقلب وهو هام بالنسبة لعمليات الهضم والنمو السليم، كما يساعد على سلامة أنسجة الأعصاب. ويتسبب غيابه في الإصابة بمرض البرى برى، ومن أعراضه الشعور بالإرهاق وفقدان الشهية واختلال عمليات الهضم والهزال وقد ينتهي الأمر بالشلل والوفاة. ويصاب بمرض البرى برى من يعتمدون في غذائهم على الأرز المقشور مثل بعض سكان الشرق الأقصى. وتعتبر قشور الأرز وردة القمح من المصادر الغنية بالثيامين، كما يوجد في الفول السوداني والبسلة والفاصوليا. والكمية اللازمة منه 1,2 مليجرام في اليوم.

الرايبوفلافين RiboFlavine (B_2):

يكون هذا الفيتامين جزءاً هاماً من أحد الأنزيمات التي تساعد على تنفس الخلايا ويختزل الرايبوفلافين في الكبد وفي الكلى ويتسبب النقص فيه في ضعف نمو الأطفال وتشقق الجلد وإصابته ببعض الأمراض الجلدية، كما يتسبب في تورم اللسان وضعف نمو الأطفال وأحياناً يؤدي إلى ازدواج الرؤية، والكمية اللازمة يومياً لصحة الإنسان 1.7 مليجرام.

النياسين Niacin:

يعرف كذلك باسم حمض نكوتنيك، ويدخل في تكوين النظام الخاص بنقل الهيدروجين في الخلايا، ويؤدي النقص فيه إلى الإصابة بمرض البلاجرا وهو مرض يصيب من يعيشون على الأرز المبيض والدقيق الأبيض الخالي من الردة، ومن أعراض هذا المرض الهزال واحمرار الوجه والإصابة بالإسهال. وقد يؤدي التأخر في علاج المريض إلى إصابته بالجنون ثم الوفاة.

ويوجد النياسين في الكبد والخميرة واللبن والبيض وفي بعض البقول، وتحتوي الأسماك على مادة التريتوفان التي تتحول إلى النياسين في الجسم. والكمية اللازمة لصحة الإنسان 5 مليجرامات، ويحتاج من يعملون عملاً يدوياً إلى نحو 19 مليجراماً في اليوم.

البايريدوكسين Pyridoxine (B_6):

هذا الفيتامين هام لصحة الجلد وسلامة النشاط العصبي وكذلك لعمليات تكوين البروتينات في الجسم. وهو يوجد مع غيره من أفراد مجموعة فيتامين ب المركب في الخميرة وفي الكبد والبيض وغيرها من الأغذية. والكمية اللازمة منه لصحة الإنسان نحو 2 مليجرام في اليوم.

حمض البانتوثنيك Pantothenic Acid:

يعد حمض البانتوثنيك جزءاً من "مساعد الإنزيم أ" الذي يدخل في كثير من التفاعلات الكيميائية في الجسم، ولذلك فهو يوجد في كل الأنسجة الحية وأطلق عليه اسم بانتوثنيك، لأن كلمة بانتوثين "Pantothen" في اللغة الإغريقية تعني من كل مكان وهو يوجد في الخميرة والبيض وفي اللحوم والكبد وفي العسل الأسود وفي الفاكهة، كما أنه يصنع في الأمعاء بواسطة البكتيريا ولهذا يندر أن يصاب الإنسان بنقص في هذا الفيتامين.

ويؤدي النقص في حمض البانتوثيك إلى الإحساس بالصداع والشعور بالغثيان ونقص النمو عند الأطفال، ولا تزيد الكمية المطلوبة للجسم يومياً عن 10 مليجرامات.

البيوتين Biotin:

يندر أن يشعر الإنسان بنقص في هذا الفتيامين، لأن الجسم لا يحتاج إلا إلى قدر ضئيل جداً منه. كما أنه يتكون في الأمعاء بواسطة أنواع من البكتيريا ويوجد في كثير من الأطعمة. وقد عرف هذا الفيتامين باسم "فيتامين هـ" فترة من الزمن وقد سمي بالعامل المضاد لزلال البيض، لأن من يتغذى مدة طويلة على زلال البيض يصاب بالمرض وينقص وزنه ويفقد استقامة جسمه، ولكن كل هذه الأعراض تزول عند تناول البيوتين.

حمض الفوليك Folic Acid:

اكتشف هذا الفيتامين أول مرة في النباتات ذات الأوراق الخضراء ولذلك أشتق أسمه "فوليوم" "Foluim" من اللغة اللاتينية التي تعني أوراق الشجر.

ويوجد حمض الفوليك كذلك في الفواكه وفي الكبد وفي الخميرة وعيش الغراب ويؤدي النقص فيه إلى الإصابة بالأنيميا نتيجة لفشل نخاع العظام في تكوين كرات الدم الحمراء. ولذلك فهو يعطي للمصابين بالأنيميا وبالحروق أو بالإشعاع أو للمصابين بكسور في العظام. والكمية اللازمة منه يومياً للشخص البالغ نحو 50 ميكروجراماً.

سيانوكوبالامين (B_6) Cyanocobalamine :

يحتوي جزيء لهذا الفيتامين على ذرة من الكوبلت في تركيبه ولهذا سمي سيانوكوبالامين، وقد تبين أن المصابين بمرض الأنيميا الخبيثة يستردون صحتهم عند تغذيتهم على الكبد، وفي عام 1948 تمكن العلماء البريطانيون والأمريكيون من عزل مادة مضادة لهذه الأنيميا، وسميت فيما بعد باسم سيانوكوبالامين أو فيتامين B_{12} ، وقد تبين من هذه التجارب أن ميكروجرام واحد من هذا الفتيامين يمكن أن يعالج المصاب بالأنيميا، ولذلك فإن الكمية المطلوبة للشخص البالغ يومياً لا تزيد على 3 ميكروجرامات فقط. ويوجد هذا الفتيامين في الكبد وفي البيض واللبن واللحوم، وقد استطاعت كيميائية بريطانية تعيين تركيب هذا الفيتامين وحصلت بذلك على جائزة نوبل عام 1964.

فيتامين ج Vitamin C :

اكتشف هذا الفيتامين عام 1937 ويعرف كذلك باسم حمض الإسكوربيك ويلعب هذا الفيتامين دوراً هاماً في سلامة جدران الأوعية الدموية في الجسم وفي تكوين أنسجة الأسنان والعظام والأنسجة الضامة. وهو يختزن في الكبد والكلى وكذلك في بعض الغدد، ويطلق في الجسم في أثناء التوتر العصبي الشديد أو عند بذل مجهود عضلي غير عادي. ويؤدي النقص في هذا الفيتامين إلى الإصابة بمرض الاسقربوط وتورم اللثة والمفاصل وحدوث نزيف تحت الجلد.؟ وتحتوي كثير من الخضر على هذا الفيتامين، كما يوجد في بعض الفاكهة وخاصة الموالح كالليمون والبرتقال. ويشبه فيتامين جـ السكر في تركيبه. وهو يتأثر بالحرارة ويتأكسد سريعاً بأكسجين الهواء. ولذلك يفضل طهو الأطعمة في أوعية الضغط بعيداً عن الأكسجين حتى يمكن الاحتفاظ بأغلب ما بها من هذا الفيتامين.

والكمية اليومية اللازمة لصحة الإنسان تتراوح بين 30 – 80 مليجراماً.

فيتامين د Vitamin D :

إن ما نسميه فيتامين د هو في الحقيقة مجموعة من المواد التي لا تذوب في الماء وتذوب في الدهون. وأهمها فيتامين د2 (أرجو كالسيفيرول) وفيتامين د3 (كولي كالسيفيرول) وفيتامين د3 (كولي كالسيفيرول). وتوجد هذه المجموعة التي نطلق عليا فيتامين د في الحيوانات فقط.

ولكن قد توجد في النباتات مواد يمكن أن تتحول إلى فيتامين د بتأثير أشعة الشمس أو الأشعة فوق البنفسجية وتعرف باسم مشابهات فيتامين د (Provitamins) مثل الإرجوسترول وبعض مشتقات الكولسترول. ويعرف فيتامين د بأنه مضاد للكساح ويؤدي النقص فيه عند الأطفال إلى لين العظام فهو يؤدي ذلك إلى اختلال التوازن بين أيونات الكالسيوم والفوسفور في الجسم، وقد ينتج عن ذلك كبر حجم المفاصل وتغير شكل القفص الصدري والضعف العام وعدم انتظام الأسنان وأهم مصدر لهذا الفيتامين زيت كبد الحوت، والكمية اللازمة منه يومياً لصحة الجسم نحو 400 وحدة دولية للأطفال وقد تقل عن ذلك بالنسبة للبالغين.

ويمكن الحصول على هذا القدر من الفيتامين يتعرض الجسم لأشعة الشمس أو الأشعة فوق البنفسجية لمدة قصيرة فيتحول بعض مشابهات هذا الفيتامين الموجودة تحت الجلد إلى فيتامين د، ولهذا يندر أن يوجد مرض الكساح في البلاد المشمسة.

وقد تؤدي الزيادة في هذا الفيتامين إلى سحب الكالسيوم من العظام وزيادة كميته في الدم الذي يترسب بعد ذلك في الأنسجة اللينة ويكون الحصى في الكليتين.

فيتامين ك Vitamin K:

اكتشف وجوده باحث هولندي عام 1929م حين وجد أن مادة مستخلصة من النباتات الخضراء والخضر تذوب في الدهن ولها القدرة على إيقاف النزيف وأطلق عليه اسم فيتامين ك (K) حيث إنها الحرف الأول من الكلمة الهولندية Koagulation وهي تعني تكون الجلطة. ويعرف فيتامين ك باسم "فيلوكينون" وهو مضاد للنزيف ويسبب تجلط الدم واكتشف مشابه له عام 1943 وسمي "فارنوكينون" كما ينتج حالياً مركب تخليقي يعرف باسم "مناديون" له نفس فعل هذا الفيتامين.

ويوجد فيتامين ك في السبانخ والطماطم وقشور الأرز وفي زيت الصويا.

ويندر أن يتعرض الإنسان لنقص هذا الفيتامين لأنه يتكون في الأمعاء بواسطة نوع من البكتيريا. ولكن هذه البكتيريا لا توجد عند الأطفال وقد يتعرض بعضهم لنوع من النزيف ولذلك قد يحتاج الأمر إلى إعطائهم جرعة صغيرة من هذا الفيتامين.

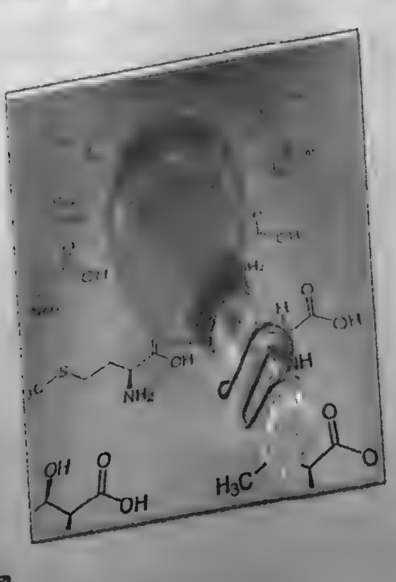
فيتامين E Vitamin E:

عبارة عن مجموعة من المركبات من مجموعة "التوكوفيرول" " Toco Pherols" وهو مضاد للعقم، ويندر أن يوجد نقص في هذا الفيتامين عند الإنسان، حيث إن الكمية اللازمة منه لصحة الإنسان لا تزيد على 30 وحدة دولية يومياً ويمكن الحصول عليها من كثير من مواد الطعام.

وقد لعبت الكيمياء دوراً هاماً في استخلاص الفيتامينات من مصادرها الطبيعية كما استطاعت أن تعين التركيب الكيميائي بكل منها، ومن الملاحظ أن التركيب الكيميائي لهذه الفيتامينات يختلف من حالة إلى أخرى فبعضها يتكون من الكربون والهيدروجين فقط، وبعضها الآخر قد يحتوي على عنصر النتروجين، كذلك منها ما هو كحول أو حمض، ومنها ما

ينتمي إلى مجموعة الستيرويدات مثل فيتامين د ولهذا فإن وظائفها تختلف في جسم الكائن الحي. وقد تمكن علماء الكيمياء من تخليق بعض هذه الفيتامينات في المعامل مثل فيتامين د وفيتامين جـ وفيتامين ك وأمكن بذلك إنتاجها في شركات الأدوية بكميات كبيرة تسمح بسد حاجة الإنسان المتزايدة إليها.

الفصل الرابع
استخدامات أخرى للكيمياء







الفصل الرابع

استخدامات أخرى للكيمياء

الكيمياء في المنزل:

الماء:

هل خطر لك ببال في يوم ما أن الماء الذي تشربه اليوم قد يكون نقطة من نفس الماء الذي سال على وجه البسطة عند فجر الخليقة؟ دورة لا تنقطع وستجري حتى "يتلاشى الزمان" وبدون الماء فلا يمكن أن توجد الحياة كما نعرفها على الأرض فكل الكائنات الحية تتركب إلى حد كبير من الماء وهي في حاجة دائمة إلى الماء.

المياه الطبيعية غير نقية:

والمياه التي تعود من حيث أتت لا تكون نقية أبداً. لأن قوة اذابتها الشديدة تحول دون بقائها نقية. فحين يرتفع بخار الماء من سطوح اليابسة أو البحار يحمل معه من بعض غازات الهواء، ثم يطفو غيماً في العلا ليتساقط مرة أخرى مطراً على الأرض، وهو إذ يسقط يعطينا أنواع المياه الموجودة في الطبيعة. وفي هبوطه يغسل الهواء الذي يمر فيه حاملاً منه شوائبه كالتراب بما فيه من الجراثيم المضرة والجراثيم النافعة. وكفتات الصخور التي تعبث بها الرياح، وبقايا الصور المختلفة من الحياة على الأرض، كحبوب اللقاح وخلايا البشرة، وندف الصوف والقطن. زيادة عما يذيبه أيضاً من الغازات أثناء نزوله إلى الأرض.

وقد عرف القدماء أن الهواء يذوب في المطر "يحدثنا أرسطو طاليس كيف كان صيادو الأسماك من بحيرات بونتين يغلون الماء لطرد الهواء منه. ثم يحملون هذا الماء في أوان مقفلة ليرشوه على الماء حتى تتجمد معاً بذلك أسرع من ذي قبل،

وتمسك عن إزعاج الأسماك بحفيفها. وكيف وضحوا أيضاً وجود الهواء في الماء بوضع إناء من الماء المغلي وآخر من ماء الينابيع جنباً إلى جنب في الصقيع، فكان الثلج الناتج في الإناء الأول صافياً، وكان في الثاني محملاً بفقاقيع الهواء التي ازدحمت في الجزء الأوسط حيث أزاحها الجزء الخارجي عند تجمده.

الينابيع:

حين يجري الماء على سطح الأرض يفور بعضه، ويترشح البعض الآخر منضماً إلى المجاري الذاهبة إلى النهر العظيم الذي سيحمل الماء مرة أخرى إلى البحر ثم منه يتصاعد بعضه للتو بخاراً بفعل حرارة الشمس. ويعود إلى الظهور بعض الماء الذي غار في الأرض، بعد وقت طال أو قصر، ولكن على غير ما كان من حال فقد يخرج من الأرض كينبوع فوار. صاف في مظهره، مع أنه محمل بما أذاب عبر طبقات الأرض التحتية من مواد. وتحوي هذه المياه دائماً بعض الغازات، وأحياناً الطباشير، أو ملح إبسوم "كبريتات المغنيسيوم" أو أملاحاً أخرى ذابت فيها.

الآبار:

في حالات كثيرة لا يخرج الماء إلى سطح الأرض ينبوعاً، ولكنه يبقى فيها فلا نصل إليه إلا بحفر الآبار. وبعض هذه الآبار لا يزيد عمقه عن 7 أو 10 أمتار، وتسمى الآبار السطحية. ومياهها في الغالب بعيدة كل البعد عن النقاء بسبب ما انساب إليها بالرشح من سطح الأرض. وهناك الآبار العميقة التي تصل إلى 300 متر أو أكثر. وكذلك تلعب المحتويات الكيماوية لمياه الآبار العميقة دوراً هاماً في حياتنا.

ماء النهر:

يجري الكثير من مياه الينابيع بعد انبثاقها من الأرض على سطح اليابسة لتكون جداول صغيرة تسرع للانضمام إلى "النهر العرم" وتختلف كثيراً مياه النهر

في تركيبها عن مياه الينبوع نظراً لتغذي النهر من ينابيع عديدة وفي جريان الماء على السطح لا يقتصر على إذابة مواد عديدة بل يحمل معه أخرى على صورة معلقات، تنعكس صفاتها على أسماء أنهار كثيرة. فنهر هوانج هو "أو النهر الأصفر" يحمل معه إلى النهر غريناً أصفر ناعماً لأميال عديدة. ونهر الريونجرو Rio Negro أو النهر الأسود بالمكسيك، وفي باتاجونيا Patagonia ونهر الماء الأسود بإيرلندا – كلها أنهار تغسل جهات غنية في المواد النباتية المنحلة والمتعفنة مما يسبب اسوداد الماء الجاري فيها، وهناك النيل الأزرق، والنيل الأبيض، كما يسبب الحديد في جهات عديدة لون الأنهار الحمراء.

الماء الذي نشربه:

مع كل الذي ذكرناه فنحن نعتمد في الغالب على الأنهار للحصول على مياه الشرب، ومع أن كثيراً من الأنهار لا تجود مياهه، إذا ببعضها يجري نقياً صافياً حتى ليكاد ماؤه يصلح للشرب كما هو، ومثل هذه المياه التي تجري على الصخور الصلدة التي لا تذوب في الماء، فبحيرة كاترين Lake katrine التي تصب فيها مثل هذه المياه تمد مدينة جلاسجو بمياه تكاد تخلو من الشوائب.

مصادر مياه الشرب:

من الملاحظات التالية نستطيع أن نكون فكرة عامة عن صلاحية المياه للشرب:

- مياه الأمطار – يجعلها النقاء والتهوية لطيفة الاستساغة.
- مياه الجرانيت والطين الاردوازي – نقية جداً في العادة.
- مياه الحجر الرملي الصلد – نقية عادة، ولكنها تحتوي على قليل من أملاح الجير والمغنيسيوم.
- مياه الصخور الرملية الهشة: غير نقية في العادة، تحتوي على أملاح الصوديوم والمغنيسيوم والكالسيوم.

- مياه الرمل والحصباء السائبة – تتفاوت تفاوتاً كبيراً.
- المياه الطباشيرية – جيدة، صحية، لطيفة، تفور بما فيها من غاز حامض الكربونيك، ولكنها عسرة في الغالب لا تصلح للغسيل.
- مياه الطمر والطين – غير نقية.

الينابيع الدوائية:

تحتوي كثير من الينابيع أيضاً على أملاح ذائبة تضفي عليها طعماً خاصاً وقيمة دوائية. فيرتادها الناس لشرب مياهها. وهناك ينابيع كبريتية في هاروجات Harrogate، وأخرى منغنيزية في إبسوم Epsom وثالثة حديدية في تنبريدج ويلز Turbridge.

الماء العسر:

لو دلكنا بين الأصابع ماء يحتوي على كثير من المواد الصلبة الذائبة فيه. أحسسنا بخشونتها ووجدناه بطيئاً في تكوين الرغوة مع الصابون. هذا النوع من المياه يسمى بالماء العسر أما ماء المطر فيسمى بالماء اليسر، فليس به مواد صلبة ذائبة، كما أنه يكون الرغوة بسهولة مع الصابون، وهو لهذا ألطف استخداماً لغسيل البدن، أو غسيل الملابس وأكثر الأملاح شيوعاً في المياه الطبيعية هي كربونات الكالسيوم (الطباشير). وكبريتات المغنيسيوم (ملح إبسوم)، وكلوريد المغنيسيوم والصابون مكون من الصوديوم متحداً مع حمض الأستياريك المشتق من الدهن المستخدم في صناعة الصابون، فهو الملح الصودي لحامض الاستياريك وإذا وضع هذا الصابون في الماء ذاب.

الشوائب الطبيعية الموجودة بالماء:

أ) الأملاح الذائبة.

ب) المواد الفردية.

جـ) المواد العالقة.

د) الغازات الذائبة.

من طرق معالجة الماء:

أ) إزالة عسر الماء.

ب) تنقية الماء.

وسوف نقوم بشرح كل طريقة.

أ) إزالة عسر الماء (المعالجة الخارجية والمعالجة الداخلية):

1) المعالجة الخارجية لماء الغلايات:

- التجميع والترسيب والترشيح.
- طريقة الجير والصودا (الطريقة الباردة والساخنة).
- طريقة الزيوليت Zeolite.
- طريقة إنتاج الماء الخالي من الأيونات Demineralization.
- طريقة التقطير.
- طرق التجميع مثل تجميع طريقتي الجير والتبادل الأيوني.

2) المعالجة الداخلية لماء الغلايات.

- المعالجة بأملاح الفوسفات.
- المعالجة بأملاح الكبريتيت.
- إضافة الصودا لماء الغلاية "كربونات صوديوم" (أو إضافة زيت الخروع والمواد المانعة للرغوة).

ب) طرق تنقية المياه (المعالجة الصحية للماء لأغراض الاستخدام المنزلي):

يعتبر موضوع معالجة الماء ذو أهمية بالغة لكلا المهندسين الكيميائيين والصناعيين للأسباب الآتية ويتناول موضوع معالجة الماء العديد من المشاكل الكيميائية والهندسية.

أ) الماء ضرورة أساسية للعديد من العمليات الكيميائية والصناعية.

ويعتبر استخدام الماء في الأغراض المدنية من أكبر استخدامات الماء وعادة تختلف مواصفات هذا الماء على مواصفات الماء اللازم للأغراض الصناعية والتجارية. كما أنت نوعية الماء الداخل إلى غلايات البخار تعتبر ذات أهمية كبيرة لظروف الأمان في عمليات التشغيل.

والأغراض الأساسية بالنسبة لتشغيل الغلايات هي:

- أن يظل سطح التسخين نظيفاً من القشور.
- منع حدوث التآكل.
- استغلال الغلاية بأقصى كفاءة متاحة عن طريق استخدام الماء المناسب والمعالج خارجياً لهذا السبب.

الشوائب الموجودة بالماء:

تحتوي كل المياه على العديد من الشوائب التي تعتمد كميتها ونوعيتها على الظروف التي تجمعت فيها هذه المياه، وبالتالي فإن قيمة أي مصدر للماء تعتمد على طبيعته الجيولوجية وبالتالي فإنه يوجد:

أ) ماء يسر:

وهو الذي يعطي رغوة بصعوبة مع محلول الصابون.

ب) ماء عسر:

كما تحدثنا سابقاً فهو الماء الذي يعطي رغوة بصعوبة مع محلول الصابون.

وفي العادة فإن الماء العسر يعرّف بأنه الماء المحتوي على كميات غير مرغوب فيها من أملاح الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) الذائبة في الماء إما على صورة أملاح بيكربونات (HCO_3^-) أو كلوريدات (Cl^-) وكبريتات (SO_4^{-2}) وهذه الأملاح:

- تكون مع محلول الصابون رواسب غير قابلة للذوبان.
- كما أنها تؤدي إلى ترسب قشور لها معامل توصيل حراري منخفض على أسطح التسخين عند استخدامها في الغلايات.

أقسام عسر الماء:

ينقسم عسر الماء إلى:

أ) عسر مؤقت أو عسر الكربونات (CO_3^-).

ب) عسر دائم أو عسر اللاكربونات.

وسبب العسر المؤقت للماء هو وجود بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ وبيكربونات المغنيسيوم $Mg(HCO_3)_2$.

يمكن تخفيض العسر المؤقت للماء إلى حد كبير بالغليان حسب المعادلات الكيميائية الآتية:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} MgCO_3 + CO_2 + H_2O$$

وأما عن سبب العسر الدائم للماء فهو وجود كلوريدات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم: ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$).

ويمكن التخلص من العسر الدائم بإضافة الكيماويات مثل كربونات الصوديوم (Na_2Co_3) حسب المعادلات الآتية:

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCo_3 + 2NaCl$$

$$MgCL_2 + Na_2Co_3 \longrightarrow MgCo_3 + 2NaCl$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$MgSo_4 + Na_2Co_3 \longrightarrow MgCO_3 + Na_2SO_4$$

حيث Na_2CO_3 تمثل صودا الغسيل.

أملاح أخرى بالماء:

بالإضافة إلى الأملاح الذائبة في الماء السابق ذكرها والغير مرغوب فيها فإنه يوجد بالماء كميات مختلفة من أملاح الصوديوم، السليكا، الألومنيا، الحديد، والمغننيز.

كمية الأملاح في الماء:

تتراوح الأملاح الكلية الذائبة في الماء من بضع أجزاء في المليون في الماء الناتج عن الجليد إلى عدة آلاف جزء في المليون في الماء المعدني من الينابيع.

الشوائب الأخرى الموجودة بالماء:

المواد العالقة غير القابلة للذوبان – المواد العضوية – المواد الملونة – الغازات الذائبة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والاكسجين (O_2)، والنيتروجين (N_2) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S).

حساب عسر الماء:

يحسب عسر الماء بمقدار ما يحويه من أملاح مسببة لهذا العسر معبراً عنها جميعها ككربونات كالسيوم ($CaCo_3$) في كل مليون وحدة ماء.

وفي العادة فإنه يمكن تقسيم الشوائب الموجودة بالماء إلى:

1) **الأملاح الذائبة:**

مثل:

- بيكربونات (HCO_3^-) وكلوريدات (CL^-) وكبريتات (SO_4^{-2}) الكالسيوم والمغنيسيوم ($Mg(HCO_3)_2$, $MgCl_2$, $MgSO_4$ $Ca(HCO_3)_2$, $CaCl_2$, $CaSO_4$).
- كلوريد الصوديوم NaCL.
- كبريتات الصوديوم Na_2SO_4.
- السيليكا.
- أملاح الحديد والألومنيوم.

وهذه الأملاح تسبب عسر الماء وهي المسؤولة عن معظم مشاكل التشغيل في غلايات البخار. ويمكن التخلص من هذه الأملاح بالمعالجة الكيماوية.

2) **المواد الغروية:**

وهذه المواد تكون عادة ذات وزن جزيئي كبير ويمكن التخلص منها بإضافة مواد جيلاتينية مثل هيدروكسيد الحديد وهيدروكسيد الألومنيوم $AL(OH)_3$.

3) **المواد العالقة:**

ويمكن فصلها بالترشيح.

4) **الغازات الذائبة:**

مثل ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، الأوكسجين (O_2)، والنيتروجين (N_2) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S) ويمكن التخلص منها بالتسخين أو بإضافة مواد كيماوية.

وبصفة عامة عند تناول أنواع الماء اليسر والعسر فإنه يمكن تقسيم الماء وفقاً لنسبة الأملاح الذائبة كما في الجدول التالي:

تقسيم الماء وفقاً لنسبة الأملاح الذائبة فيه

نوع الماء	نسبة الأملاح الذائبة
ماء يسر	يحتوي على أقل من 100 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء متوسط العسر	يحتوي من 100 – 200 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء عسر	يحتوي على 200 – 500 جزء في المليون أملاح ذائبة
ماء سلمى	يحتوي على أكثر من 500 جزء في المليون أملاح ذائبة

مواصفات الماء المستخدم في الغلايات:

تعتبر المكونات الآتية غير مرغوب في وجودها في ماء الغلايات وبالتالي يجب ألا توجد هذه المكونات أصلاً في الماء المستخدم في غلايات البخار أو تقلل إلى أدنى تركيز ممكن وهذه المواد هي: المواد والغازات الذائبة.

مثل الأحماض الحرة – الأوكسجين الذائب – حامض الكربونيك الحر – الأمونيا الحرة أو املاح الأمونيوم (النشادر).

أ) المواد الصلبة القابلة للترسيب:

حيث أن ترسبها على سطح الغلايات يقلل من معامل انتقال الحرارة مثل الشوائب الميكانيكية، المواد العضوية، والمواد المسببة للقشور.

ب) المواد العالقة:

حيث أن هذه المواد تعمل كمادة رغوية بالغليان، كذلك فإن السليكا وحامض السيليسك غير مرغوب في وجودهما.

كما أن قلوية الماء الداخل إلى الغلاية يجب أن تظل في حدود (PH) من (11 – 9.5) وينبغي أن يكون الماء الداخل إلى الغلاية خالياً من الزيوت والشحوم حيث أن وجود كميات صغيرة منها يمكن أن يسبب خطورة كبيرة في الغلايات الحديثة ذات الأنابيب.

طرق معالجة الماء:

تعتمد عمليات تنقية وتيسير الماء أساساً على الغرض الذي سوف يستخدم فيه هذا الماء بعد ذلك:

- الهدف من عملية التيسير Softening:

تهدف عملية التيسير (Softening) إلى إزالة أو خفض عسر الماء.

- الهدف من عملية التنقية Purification:

عملية التنقية (Purification) تهدف إلى التخلص من المواد العضوية والكائنات الدقيقة الموجودة بالماء.

ويمكن الوصول إلى تيسير وتنقية الماء بعدة طرق. وفي العادة فإن كل صناعة يكون لها ظروف تشغيل خاصة فمثلاً عمليات الغسيل تتطلب ماءً درجة عسرة صفراً.

❖ لمنع ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم الغير قابلة للذوبان على الملابس.

❖ وجود أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم يؤدي إلى عمليات ترسيب غير مرغوب فيها في عمليات تجهيز وصباغة الأقمشة وفي صناعة الورق.

❖ أيضاً يؤدي وجود هذه الأملاح إلى تكون القشور في الغلايات.

والعمليات المعتادة التي تجري على الماء الداخل إلى غلايات البخار تتضمن:

أ) عمليات التجميع والترسيب والترشيح.

ب) طريقة الجير والصودا (الباردة والساخنة).

جـ) طريقة الزيوليت Zeolite.

د) المبادلات الأيونية للتخلص من الأيونات الموجبة والسالبة والتي تعطي ماء خالياً من الأيونات.

هـ) طريقة التقطير.

و) تجميع طريقتين مثل تجميع طريقتي الجير والتبادل الأيوني أو غير ذلك.

وبصفة عامة فإن اختيار الطريقة المناسبة يعتمد على:

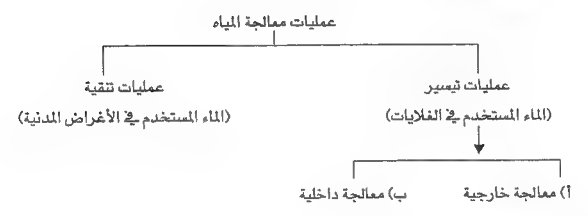
- تركيب الماء المستخدم.
- على ظروف العمليات الصناعية المطلوب استخدام هذا الماء فيها.
- وتسمى عملية معالجة الماء قبل دخوله إلى الغلاية بالمعالجة الخارجية.

ولا يعني عمل المعالجة الخارجية للماء أنه بالضرورة لن يتكون أي نوع من القشور بالغلاية حيث أن الماء المتكثف الراجع إلى الغلاية ربما يحتوي على بعض الشوائب المسببة لتكون القشور، وبالتالي فإنه يضاف إلى الماء داخل الغلاية فوسفات الصوديوم (Na_3PO_4) وكبريتيت الصوديوم ($Na_2S_2O_3$) من أجل:-

- ترسيب أي بقايا عسر موجودة أو أي شوائب في الماء المتكثف الراجع.
- تقليل صدأ الغلاية.

وتسمى هذه العملية بالمعالجة الداخلية.

وبالتالي فإن:



أ) في المعالجة الخارجية:

يتم التخلص من المواد المسببة للقشور وللتآكل تخلصاً تاماً بقدر الإمكان قبل دخول الماء إلى الغلاية.

ب) في المعالجة الداخلية:

يتم حقن الماء داخل الغلاية بمواد مختلفة بهدف التفاعل مع المواد المسببة لعسر اللاكربونات وتقليل القابلية لتكوين القشور والتآكل داخل الغلاية وفي معظم الأحوال فإن الماء يجري معالجته بكلتا الطريقتين (معالجة خارجية ومعالجة داخلية).

طرق تيسير الماء:

أولاً: المعالجة الخارجية للماء

أ) عمليات التجميع والترسيب والترشيح:

تتم هذه العمليات إما:

- بصورة مستقلة.
- أو مع طريقة الجير والصودا.
- أو مع طرق المعالجة الأخرى.

هدف عملية التجميع والترسيب والترشيح هو التخلص من المواد العالقة. تجري عمليات التجميع والترسيب في أحواض أو خزانات كبيرة حسب كمية الماء المعالجة. والمواد المجمعة المستخدمة تكون عادة كبريتات الحديد أو كبريتات الألمونيوم $(Al_2(SO_4)_3)$ أو الومينات الصوديوم أو الجير $Ca(OH)_2$.

ترشيح الماء البارد والساخن:

- يرشح الماء البارد باستخدام مرشحات الزلط والرمل.
- أما الماء الساخن فيتم ترشيحه في مواد ذات درجة ذوبانية أقل مثل كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم.

ثانياً: طريقة الجير والصودا

يمكن استخدام هذه الطريقة بطرق عديدة حيث يستخدم الجير المطفأ ($Ca(OH)_2$) بمفرده أو مع الصودا (كربونات الصوديوم Na_2CO_3) لإزالة عسر الماء.

وتنقسم التطبيقات الحديثة لهذه الطريقة إلى:

1. طريقة الجير والصودا الباردة.
2. طريقة الجير والصودا الساخنة.

- يتم التخلص من أيون الكالسيوم (Ca^{+2}) الموجود في الماء العسر بترسيبه على صورة كربونات الكالسيوم ($CaCo_3$).
- أما أيون المغنيسيوم (Mg^{+2}) فيرسب على صورة هيدروكسيد مغنيسيوم $Mg(OH)_2$ والمعادلات التي توضح ذلك:

أ) عسر الكربونات:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftarrows 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftarrows MgCO_3 \downarrow + CaCO_3 + 2H_2O$$

وحيث أن كربونات المغنيسيوم تذوب إلى حد ما فإنه يحدث:

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightleftarrows Mg(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightleftarrows Mg(OH)_2 \downarrow + 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$$

ونستنتج مما سبق:

1. كل وحدة كالسيوم على صورة بيكربونات كالسيوم ($Ca(HCO_3)_2$) تحتاج إلى غم جزيئي واحد من الجير $Ca(OH)_2$.
2. كل وحدة مغنيسيوم على صورة بيكربونات مغنيسيوم ($Mg(HCO_3)_2$) تحتاج إلى 2 غم جزيئي من الجير.

ب) عسر اللاكربونات:

$$MgCL_2 + Ca(OH)_2 \rightleftarrows Mg(OH)_2 \downarrow + CaCL_2$$
$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightleftarrows CaCO_3 \downarrow + 2NaCL$$
$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightleftarrows CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$$
$$MgSO_4 + Na_2CO_3 \rightleftarrows Ca(OH) \rightleftarrows Mg(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$$

ونستنتج من ذلك:

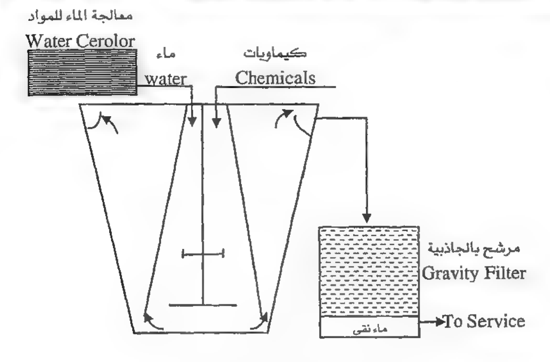
1. كل وحدة أملاح كالسيوم تحتاج إلى غم جزيئي واحد من كربونات الصوديوم.
2. كل وحدة أملاح مغنيسيوم تحتاج إلى 1 غم جزيئي كربونات صوديوم +1 غم جزيئي من الجير $Ca(OH)_2$.

1) طريقة الجير والصودا الباردة:

هدف هذه الطريقة هو التخلص جزئياً من عسر الماء وتقلل هذه الطريقة من عسر الماء إلى حوالي 35 جزء في المليون.

خطوات طريقة الجير والصودا الباردة.

تتلخص هذه الطريقة في إضافة كمية كافية من الجير إلى الماء المطلوب معالجته ويتكون في هذه الطريقة راسب ناعم دقيق لا يمكن ترشيحه أو ترسيبه بسهولة، ولذلك تضاف مادة مجمعة مثل كبريتات الألومنيوم (AL_2SO_4) أو ألومينات الصوديوم أو كبريتات الحديدوز ($FeSO_4$).



معالجة الماء بطريقة الجير والصودا

الخطوات:

- ❖ يدخل الماء والكيماويات إلى الغرفة الصغيرة المزودة بقلاب لتحسين عملية الخلط.
- ❖ بعد ذلك يمر الماء من الغرفة الصغيرة إلى الغرفة الكبيرة الذي تتسع مساحة مقطعه بسرعة – وكنتيجة لانخفاض سرعة الماء عند مروره بالغرفة الكبيرة فإننا نحصل على منطقة تتساوى فيها معدل سرعة الترسيب مع معدل سرعة دخول الماء، وأعلى هذه المنطقة نحصل على ماء رائق.
- ❖ يؤخذ الماء الرائق من أعلى هذه الغرفة ويرشح بطريقة متقطعة.
- ❖ كما أن الراسب المتكون يتم سحبه باستمرار من منطقة الترسيب.
- ❖ كما أن جزءاً من هذا الراسب تتم إعادته إلى الغرفة الأولى للمساعدة في عملية ترسيب المواد العالقة وباقي الراسب يتم التخلص منه.

وفي طريقة الجير والصودا القديمة فإنها كانت تتم بطريقة متقطعة Batch أما الوحدات الحديثة فإن معظمها يعمل بطريقة مستمرة حيث:

- يدخل الماء والكيماويات اللازمة إلى خزان كبير مزود بقلاب بطيء السرعة.
- وبعد التقليب جيداً يوقف القلاب ويسمح بترسيب المواد المتكونة.
- ويمر الماء بعد ذلك بمرشحات الرمل حسب الضرورة.
- ولعمل هذه الطريقة بشكل مستمر يستخدم خزانات بحيث يكونان على التناوب أحدهما يعطي ماء معالجاً والآخر تتم فيه عملية المعالجة.

ونتيجة لاستعمال طريقة الجير والصودا الباردة يمكن التخلص الجزئي من عسر الماء بما يناسب الأغراض المدنية ولمعالجة الماء المستخدم في عمليات التبريد حيث يخشى تكون رواسب من بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ وللماء المستخدم في صناعة الورق حيث يسبب وجود بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ متاعب في عمليات التصنيع.

2) طريقة الجير والصودا الساخنة:

تختلف طريقة الجير والصودا الساخنة عن طريقة الجير والصودا الباردة أساساً في:

- إن الطريقة الساخنة تجري في درجات حرارة مرتفعة عادة قرب درجة الغليان.
- حسب القاعدة المعروفة من أن سرعة التفاعل الكيميائي تتضاعف لكل ارتفاع مقداره $10C^{o}$ في درجة الحرارة. وعليه فإن التفاعلات الكيميائية تحدث في الطريقة الساخنة أسرع مئات المرات عنها في الطريقة الباردة.
- في الطريقة الباردة فإنه يلزم (2 -3 Hours) لإتمام عمليات التجميع والترسيب في حين أنه يلزم 15 Minutes فقط في الطريقة الساخنة لنفس الغرض.
- الراسب المتكون في الطريقة الساخنة يكون حجم حبيباته أكبر كما أن ارتفاع درجة حرارة الماء يقلل من لزوجته ويسهل من عملية تجميع الراسب المتكون وبالتالي فإنه على عكس الطريقة الباردة لا توجد حاجة لإضافة مادة مجمعة.

- كذلك تختلف الطريقة الساخنة عن الطريقة الباردة في أنه لا يلزم إضافة جير لترسيب ثاني أكسيد الكربون في الطريقة الساخنة حيث أنه يتم التخلص منه في عملية التسخين وقبل إضافة الكيماويات. وبالتالي فإن أجهزة إزالة العسر في الطريقة الساخنة تكون أقل في الحجم عنها في الطريقة الباردة لنفس كمية الماء المطلوب معالجتها.
- ونلاحظ أنه توجد تطبيقات عديدة للطريقة الباردة حيث يمكن استخدام كيماويات مختلفة لإنتاج أنواع عديدة من الماء المعالج في حين أنه في الطريقة الساخنة والتي تستخدم أساساً في معالجة الماء الداخل إلى الغلايات فإنه لا تجري معالجة جزئية وإنما تجري معالجة كاملة للماء وتضاف الكميات الكافية من الكيماويات لتحويل كل الكالسيوم إلى كربونات كالسيوم. وكل المغنيسيوم إلى هيدروكسيد مغنيسيوم. وبالإضافة إلى ذلك يضاف عادة زيادة صغيرة من كربونات الصوديوم.
- الأجهزة المستخدمة في معالجة الماء بالطريقة الساخنة تكون عادة من النوع المستمر وتستعمل لازالة عسر الماء الداخل إلى الغلايات حيث يتم التحكم في ظروف التشغيل بحيث ينتج ماء معالج لا يحتوي على أيونات هيدروكسيد (OH^-) ويحتوي أقل ما يمكن أيونات الكربونات (CO_3^-).
- المرشحات المستخدمة في طريقة الجير والصودا الساخنة مصنوعة من الصلب وتعمل بالضغط.

وفي العادة فإن ماء التغذية وخاصة في الغلايات التي تعمل تحت الضغط المرتفع فأنه يتم معالجته داخلياً وذلك بإضافة فوسفات الصوديوم (Na_3PO_4) إلى الماء بعد معالجته بطريقة الجير ($Ca(OH)_2$) والصودا الساخنة (Na_2CO_3) وذلك لتيسير الماء تماماً.

جـ) طريقة الزيوليت:

تعتبر هذه الطريقة أهم طرق تيسير الماء. ويطلق اسم الزيوليت على مادة سيليكات الصوديوم والألومنيوم المائية المحتوية على أيونات صوديوم أو بوتاسيوم قابلة للإحلال.

وتركيب الزيوليت هو $Na_2O.\ Al_2O_3.\ 2SiO_2.\ 6H_2O$ ويمكن تمثيله أختصاراً بالرمز Na_2Ze.

طريقة معالجة الماء بالزيوليت:

وفي عملية إمرار الماء العسر على الزيوليت فإن ايونات الكالسيوم (Ca^{+2}) والمغنيسيوم (Mg^{+2}) الموجودين في الماء يحل محلهما أيونات الصوديوم (Na^{+}) الموجود في الزيوليت حسب المعادلات التالية:

$$Na_2Ze^- + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaZe^- + 2NaHCO_3$$
$$Na_2Ze^- + CaCl_2 \longrightarrow CaZe^- + 2NaCl$$
$$Na_2Ze^- + MgSO_4 \longrightarrow MgZe^- + Na_2SO_4$$

استرجاع زيوليت الصوديوم (Na_2Ze^-):

عندما يتحول الزيوليت تماماً إلى زيوليت كالسيوم ($CaZe^-$) وزيوليت مغنيسيوم ($MgZe^-$) فإنه يمكن استرجاعه إلى زيوليت صوديوم (Na_2Ze^-) بمعالجته بزيادة من محلول تركيزه 10٪ كلوريد صوديوم (NaCL).

(3 أمثال الكمية النظرية المطلوبة) حسب المعادلات التالية:

$$CaZe^- + 2NaCL \xrightarrow{\text{زيادة}} Na_2Ze^- + CaCl_2$$
$$MgZe^- + 2NaCL \xrightarrow{\text{زيادة}} Na_2Ze^- + MgCL_2$$

والماء الناتج عن المعالجة بالزيوليت يحتوي عملياً على صفر درجة عسر.

أنواع الزيوليت:

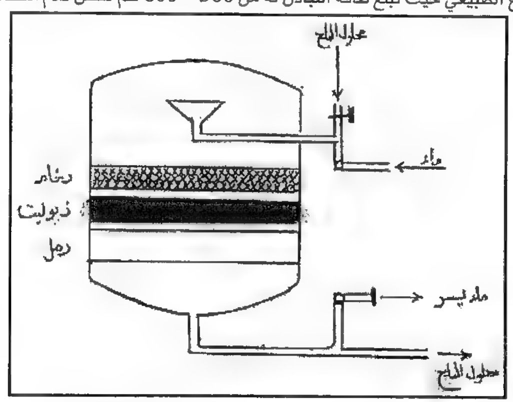
1) النوع الطبيعي:

ويؤخذ من الرمل الطبيعي الأخضر. وهذا النوع له طاقة تبادل 200 – 300 غم لكل قدم مكعب (ft^3).

2) النوع الصناعي:

يحضر بصهر فلسبار، طفلة كربونات صوديوم (Na_2Co_3) ثم معالجة ناتج الصهر بالماء.

وهذا النوع من الزيوليت (أي الزيوليت الصناعي) له قوة تبادل أكبر من النوع الطبيعي حيث تبلغ طاقة التبادل له من 500 – 800 غم لكل قدم مكعب.



شكل 5 جهاز معالجة الماء بطريقة الزيوليت

د) الجمع بين طريقتي الجير والزيوليت:

في هذه الطريقة يتم تخفيض عسر البيكربونات بواسطة الجير المطفأ وإضافة جرعة صغيرة من مادة مجمعة في جهاز إزالة العسر بطريقة الجير والصودا الباردة.

ويتم تخفيض الأس الهيدروجيني (PH) للماء الناتج بإضافة كمية صغيرة من حامض الكبريتيك (H2SO4) ثم يمرر الماء بعد ذلك على الزيوليت حيث يتم التخلص من كل من بقايا عسر البيكربونات وجميع عسر اللاكربونات.

ويمكن القول بصفة عامة أنه يمكن التخلص من:

- عسر البيكربونات باستخدام الجير بتكاليف بسيطة بالمقارنة باستخدام الزيوليت.
- عسر اللاكربونات باستخدام الزيوليت أرخص عن استخدام الجير.
- الجمع بين طريقتي الجير والزيوليت يعطي وفراً كبيراً في التكاليف خاصة للماء المحتوي على نوعي العسر وتكون نوعية الماء الناتج في هذه الحالة ممتازة.

هـ) طريقة التخلص من الأيونات (طريقة تحضير الماء الخالي من الأيونات):

تستخدم في هذه الطريقة الراتنجات (المبادلات الأيونية) وهي مواد عضوية تستعمل لإزالة الأملاح كلية من الماء العسر.

وتقسم الراتنجات إلى:

1) مبادلات كاتيونية.

2) مبادلات أنيونية.

1) المبادلات الكاتيونية:

المبادلات الكاتيونية هي مواد عضوية تحتوي على مجموعة سلفونات نشطة (HSO_3) تحتوي على أيون الهيدروجين (H^+) القابل للإحلال.

ويستخدم هذا النوع من المبادلات للتخلص من الكاتيونات (الأيونات الموجبة) من الماء حسب المعادلات التالية.

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HSO_3R^- \longrightarrow Ca(SO_3R^-) + 2CO_2 + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2HSO_3R^- \longrightarrow Mg(SO_3R^-)_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$
$$NaHCO_3 + HSO_3R^- \longrightarrow NaSO_3R^- + CO_2 + H_2O$$

والحامض المتكون في هذه الحالة هو حامض الكربونيك H_2CO_3 الذي يتحلل ويمكن التخلص منه بسهولة.

أما الكبريتات والكلوريدات فتتفاعل حسب المعادلات الآتية:

$$CaSO_4 + 2HSO_3R^- \longrightarrow Ca(SO_3R^-)_2 + H_2SO_4$$
$$MgCL_2 + 2HSO_3R^- \longrightarrow Mg(SO_3R^-)_2 + 2HCL$$

صفة الماء الناتج في هذه الحالة:

الماء الناتج في هذه الحالة يكون حامضياً وهو غير مطلوب ولا يصلح لكثير من الاستخدامات ويتم معالجته قبل استخدامه وتتم معالجته عن طريق:

- يعادل هذا الماء بواسطة إضافة القلويات قبل استخدامه.
- وفي حالة إذا كان المطلوب ماءً خالياً من الأيونات فإن الماء الناتج يمرر على مبادل أيوني وهي راتنجات من النوع الذي يحتوي على مجموعة الأمين (NH_2^-) ($H_2N\text{-}R$).

ويمكن استرجاع المبادلات الكاتيونية بعد الاستخدام بتحويلها جميعاً إلى أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم باستخدام (0.4٪ - 0.5٪) حامض كبريتيك عياري ($1N\ H_2SO_4$) أو حامض هيدروكلوريك 2 عياري ($2N\ HCL$) حسب المعادلات الآتية:

$$Ca(SO_3R^-)_2 + H_2SO_4 + H_2SO_4 \xrightarrow{\text{زيادة}} 2HSO_3R^- + CaSO_4$$
$$Mg(SO_3R^-)_2 + H_2SO_4 \xrightarrow{\text{زيادة}} 2HSO_3R^- + MgSO_4$$

وهذه الراتنجات لها طاقة تبادل كبيرة تصل إلى 1200 غم لكل قدم مكعب.

2) المبادلات الأنيونية:

المبادلات الأنيونية عبارة عن مواد عضوية تحتوي على مجموعة أمين نشطة (مجموعة قاعدية) ويكون التفاعل حسب المعادلات الآتية:

$$N_2NR^- + HCL \longrightarrow H_2N(HCL)R^-$$
$$2H_2NR^- + H_2SO_4 \longrightarrow (H_2N)_2(H_2SO_4)R_2^-$$

ويتم استرجاع المبادلات الأنيونية بعد استخدامها باستخدام محلول كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaoH)

$$2H_2N(HCL)R + Na_2CO_3 \xrightarrow{\text{زيادة}} 2H_2NR + 2NaCL + H_2O + CO_2$$

أهمية المعالجة بالمبادلات الكاتيونية والأنيونية:

المعالجة الثنائية بالمبادلات الكاتيونية والأنيونية تعطي ماء خالياً من الأيونات وليس فقط ماء يسر.

والطريقة الأخرى الوحيدة للتخلص من الأيونات الموجودة بالماء هي التقطير.

و) التقطير:

إن كلا من الماء الخالي من الأيونات والماء المقطر ينبغي أن يتم استخدامهم في أنواع خاصة من الأنابيب منعاً لذوبان أي أجزاء صغيرة من المعدن في حالة استخدام الأنابيب العادية.

ويستخدم عادة أنابيب من القصدير الأسود (طريقة قديمة) وحديثاً تستخدم أنابيب عديد كلوريد الفينيل (PVC (Poly Vinyl Chloride.

ثانياً: المعالجة الداخلية للمياه

طريقة المعالجة الداخلية:

تعتمد المعالجة الداخلية لماء الغلايات على تثبيت تركيز بعض المواد الكيميائية في الماء داخل الغلاية لترسيب أي بقايا عسر أو مواد غير مرغوب فيها ولتقليل عملية التآكل داخل الغلاية.

اختلاف المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الداخلية ويلاحظ أن نوعية وكمية المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الداخلية تختلف باختلاف خواص الماء الداخل إلى الغلاية وبنتائج عمليات تشغيل الغلاية.

أهم الكيماويات المستخدمة في المعالجة الداخلية هي:

1) فوسفات الصوديوم NaH_2PO_4، Na_2HPO_3، Na_3PO_4 (أحادي وثنائي وثلاثي فوسفات الصوديوم، ويستخدم لترسيب الأيونات المسببة للعسر وتكوين رواسب فوسفاتية يسهل التخلص منها.
2) كبريتيت الصوديوم Na_2SO_3: ويساعد في التخلص من الأكسجين الذائب بالماء وهي عملية ضرورية لتلافي تآكل الغلاية خاصة في الغلايات الحديثة التي تعمل تحت ضغط وحرارة مرتفعين.
3) كربونات الصوديوم Na_2CO_3 وتستخدم لكي:
   - تعطي الماء درجة قاعدية مناسبة.

❖ ولمنع تكوين قشور كبريتات الكالسيوم.

❖ كما أنها تساعد في تأخير تكوين قشور السليكا

تنقية المياه:

تنقية المياه للأغراض المدنية (التعقيم أو الكلورة):

تعني هذه العملية أساساً التخلص من المواد العضوية والكائنات الدقيقة الضارة بالصحة من الماء حتى يناسب الأغراض المدنية (كالشرب).

ويكفي عادة لهذا الغرض:

❖ اجزاء عمليات تجميع – ترشيح خلال مرشحات رمل أو مرشحات فحم صلب.

❖ ثم الأكسدة بإمرار الهواء للتخلص من المواد العضوية.

❖ ويتم معالجة الماء الناتج بغاز الكلور لاحتياجات الصحة.

❖ كما أن الكلور أمين (H_2NCL) يستخدم أحياناً بدلاً من الكلورة وقوة تعقيمه كبيرة.

طريقة تحضير الكلور أمين:

يتم تحضير الكلور أمين في الماء نفسه بتغذية الماء بالكلور والنشادر حسب التفاعل:

$$2NH_3 + CL_2 \longrightarrow H_2NCL + NH_4CL$$

أهمية المعالجة بالكلور أمين:

تعطي المعالجة بالكلور أمين ماءً أفضل صحياً وأفضل مذاقاً.

عملية التعقيم للماء:

تعتبر عملية التعقيم أو الكلورة من العمليات الضرورية للقضاء على البكتيريا الضارة.

طريقة التعقيم للماء:

تتلخص هذه العملية في إضافة الكلور إلى الماء:

$$H_2O + Cl_2 \longrightarrow \underbrace{HCL}_{\text{تأين كامل}} + \underbrace{HOCL}_{\text{تأين ضعيف}}$$

أهمية إضافة حمض الهيبوكلوروز (HOCL) الناتج من إضافة الكلور إلى الماء:

يعتقد أن حامض الهيبوكلوروز (HOCL) الناتج من الكلورة هو النشط كيميائياً المسؤول عن التعقيم. ويمكن اختبار الماء الناتج باستخدام اختبار البكتيريا للتأكد من كفاءة التعقيم. وكما سبق أنه يفضل إضافة كلوريدات الأمين بدلاً من الكلور مباشرة نظراً لاحتوائها على الأخير.

وتحضر كلوريدات الأمين إما بـ:

أ) إضافة الكلور للأمونيا كما سبق:

$$2NH_3 + CL_2 \longrightarrow H_2NCL + NH_4CL$$

ب) أو بتفاعل الأمونيا على حمض الهيبوكلوروز لإعطاء أحادي وثنائي وثلاثي كلوريدات الأمين على الترتيب كما يلي:

$$NH_3 + HOCL \rightleftarrows NH_2CL + H_2O$$
$$NH_2CL + HOCL \rightleftarrows NHCL_2 + H_2O$$
$$NHCL_2 + HOCL \rightleftarrows NCL_3 + H_2O$$

وتشير هذه التفاعلات إلى إمكانية الحصول على حمض HOCL الفعال لقتل البكتيريا.

طريقة التخلص من الكلور الزائد:

يمكن التخلص من الكلور الزائد إما بإضافة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) أو ثيوكبريتات الصوديوم (Na_2S2O_3) ويفضل الأخير:

$$SO_2 + CL_2 \xrightleftharpoons{2H_2o} H_2SO_4 + 2HCL$$

$$2Na_2S_2O_3 + CL_2 \rightleftarrows Na_2S_4O_6 + 2NaCL$$

الكيمياء الحربية

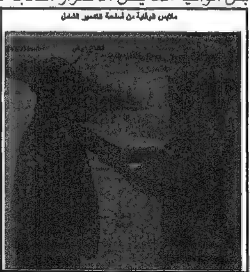
الأسلحة الكيماوية:

هي عبارة عن استخدام المواد الكيماوية في الحروب لغرض قتل أو تعطيل الإنسان أو الحيوان.

ويتم ذلك عن طريق دخولها الجسم سواء باستنشاقها أو تناولها عن طريق الفم أو ملامستها للعيون أو الأغشية المخاطية.

وهذه المواد الكيماوية قد تكون غازية أو سائلة سريعة التبخر ونادراً ما تكون صلبة تُطلق في الفضاء أو تُلقى على الأرض سواء بالرش مباشرة بواسطة الطائرات على ارتفاع منخفض أو وصفها في ذخائر Munitions. على شكل قنابل أو قذائف بحيث توضع الكيماويات السامة في أوعية من الرصاص أو الخزف حتى لا تتفاعل مع مواد الانفجار أو مع جدار القذيفة، وعند وصول القذيفة إلى الهدف وانفجارها تتصاعد الكيماويات السامة على شكل أبخرة مسببة الموت الجماعي.

وتتميز الكيماويات السامة بروائح مميزة ولذلك يمكن الابتعاد عنها أو استعمال الأقنعة والملابس الواقية مما يقلل الأضرار الناتجة عنها.

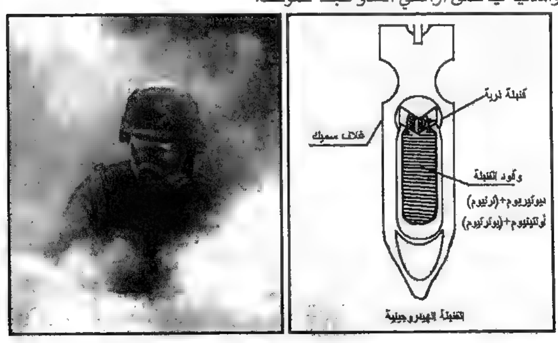


إلا أن هنـاك كيماويـات اكتشـفت إبـان نهايـة الحـرب العالميـة الثانيـة ولم تكـن جاهـزة للاستعمال إلا بعـد نهايـة الحـرب. تلـك الكيماويـات تسـمى بغـازات الأعصـاب الـتي تسـبب شـللاً في الأعصـاب وأعـراض أخـرى ممـا تـؤدي إلى المـوت، تتميز هذه الغازات عن غيرها بالسمية العالية وبأنها عديمة اللون والرائحة تقريباً. وبذلك يصعب اكتشافها على عكس الأسلحة الكيماوية الأخرى. ولـذلك تعتبر الأسلحة الكيماوية أحد أنواع أسلحة الدمار الشامل وتشمل:

1. الغازات الحربية.
2. المواد الحارقة.

الغازات الحربية:

اعتبرت الغـازات الحربيـة في الفكـر العسـكري الحـديث أداة ردع قريبـة المستوى مـن وسـائل الـردع فـوق التقليديـة، وذلـك بإتاحـة الخيـار الكيمـاوي قبـل اللجوء إلى الخيار النووي. ولهذا كـان لابد مـن تعـدد وسـائل الـردع ضـد الأهـداف العسكرية ذات الأهمية الإستراتيجية والتعبوية وكذا الأهداف الحيوية الصناعية والمدنية في عمق أراضي العدو طبقاً للموقف.



القنبلة الهيدروجينية

والغازات الحربية هي المواد الكيماوية التي لها تأثير كيميائي وفسيولوجي ضار بالكائنات الحية كما أنها تلوث الأرض والأسلحة والمعدات والمهمات وكل ما تصل إليه، وتستخدم لإحداث خسائر في الأفراد وتلويث القطاعات الهامة من الأرض وكذا الأسلحة والمعدات لمنع الأفراد من استخدامها بهدف هزيمة القوات العسكرية المعادية وإحداث أكبر خسائر بها.

تقسيم الغازات الحربية:

1. تقسم الغازات الحربية من حيث الاستخدام القتالي إلى:

أ) غازات سامة قاتلة:

وهي غازات تحدث تأثيراً ساماً على أعضاء جسم الإنسان قد تؤدي إلى الوفاة، وتشمل الغازات الكاوية وغازات الأعصاب وغازات الدم والغازات الخانقة.



ب) غازات شل القدرة:

وهي غازات تحدث تأثيرات فسيولوجية أو ذهنية أو كليهما لفترة زمنية معينة وهي تجعل الأفراد غير قادرين على تركيز جهودهم للقيام بالأعمال المكلفين بها. وتشمل غاز حمض ليسرجيك ثنائي أيثل أميد LSD، وغاز BZ.

جـ) غازات إزعاج:

وهي غازات تحدث تهيج لبعض أجزاء من الجسم لفترة مؤقتة من الوقت وتشمل الغازات المقيئة والمسيلة للدموع.

2) تقسم الغازات الحربية من حيث التأثير الفسيولوجي على الإنسان إلى:

أ) الغازات الخانقة:

وهذه المجموعة تؤثر على الجهاز التنفسي، وتتكون من غاز الفوسجين، الذي اكتشفه العالم الانجليزي DAVI عام 1812 وقام العلماء الألمان بتحضيره واستخدامه في الحرب العالمية الأولى في ديسمبر 1915، ضد القوات الفرنسية، وغاز ثنائي فوسجين، الذي تم اكتشافه وتصنيعه بواسطة العلماء الألمان، خلال الحرب العالمية الأولى.

وهذه الغازات لها فترة كمون. أي أن تأثيرها على الإنسان يظهر بعد فترة من الوقت تتراوح بين 3 – 4 ساعات.

كما أن لها تأثير متراكم في الجسم، أما في حالة التركيزات العالية فيظهر تأثير الغاز سريعاً.

يستخدم غاز الفوسجين في صورة غاز يلوث الهواء ويؤثر على الجهاز التنفسي عن طريق استنشاق الهواء الملوث، أما ثنائي فوسجين فيستخدم في صورة سائل يتحول إلى أبخرة بعد فترة من الوقت تصل إلى 6 ساعات. تلوث الهواء وبالتالي تؤثر على الجهاز التنفسي عند استنشاقه.

ب) غازات الأعصاب:

تم اكتشاف المركبات الفسفورية السامة خلال الثلاثينيات من هذا القرن، واستمرت الأبحاث الخاصة بتطويرها حتى اليوم.

وفي عام 1937م استطاعت ألمانيا تحضير غاز التابون Tabon، وأنشأ مصنع لإنتاج غاز التابون وكانت طاقته الإنتاجية قدرها 12 طن يومياً وبدأ إنتاجه عام 1943 واكتشف غاز الزارين عام 1942، وتم إنشاء مصنع في ألمانيا لإنتاجه أيضاً في بداية عام 1945 بمعدل 20 طن يومياً.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية بدأ العلماء في دراسة تصنيع المواد العضوية الفسفورية والتي عرفت باسم (V – Gases) واستمرت الأبحاث حتى تم اكتشاف (V – agents) عام 1955، والتي تعرف بأنها أخطر أنواع غازات الأعصاب.

يرجع التأثير السام لهذه الغازات إلى أنها تحدث انقباض في العضلات وأيضاً ضيق في التنفس نتيجة انقباض في عضلة الصدر ويصاحب ذلك ضيق في حدقة العين، ويحدث الشلل بطول فترة التعرض وفي الحالات الشديدة تحدث الوفاة.

وتتكون هذه المجموعة من غازات الزارين، والتابون، والزوبان، وVX، وهذه الغازات ذات تأثير سريع جداً وذات درجة سمية عالية جداً.

وتستخدم غازات الأعصاب في صورة سوائل لتلويث الأسلحة والمعدات والتعيينات والأرض. وفي صورة ضباب (أبخرة) لتلويث الهواء.

ج) غازات الدم:

قام الفرنسيون بتحضيره للاستخدام الحربي في عام 1916م، أثناء الحرب العالمية الأولى وذلك في صورة مخلوط مع ثالث كلوريد الزرنيخ ورابع كلوريد

الكربون والكلوروفورم، ويؤثر هذا الغاز عند امتصاصه داخل الجسم عن طريق الاستنشاق على أنزيم السيتوكروم أكسيدايز (Cytochrome – Oxidase) الذي يقوم بنقل الأكسجين من هيموغلوبين الدم إلى أنسجة الجسم حيث يوقف الغاز عمل هذا الإنزيم، فيمنع وصول الأكسجين إلى الأنسجة الحيوية في الجسم لتغذيتها فيحدث تسمم مما يؤدي إلى الوفاة.

وتتكون هذه المجموعة من غازات حامض كلوروميد سيانوجين، وسيانيد الهيدروجين، وهذه الغازات ذات تأثير سريع.

وهي تستخدم في صورة أبخرة تلوث الهواء ويظهر تأثير هذه الغازات عندما يستنشق الهواء الملوث فقط.

د) الغازات الكاوية:

تستخدم الغازات الكاوية لتأثيرها القاتل على الأفراد، وهي لها تأثير كاوٍ على الجلد، كما أنها تؤثر على الجهاز التنفسي والجهاز الهضمي والعين. كما تلوث المناطق الحيوية من الأرض وتعرقل استخدامها، وتلوث الأسلحة والمعدات وتحد من استخدامها القتالي.

وتأتي تأثيرات الغازات الكاوية ببطيء، وتظهر أعراضها خلال فترة تتراوح بين 4: 8 ساعات، ولا تسبب آلاماً وقت التعرض ما عدا غاز اللويزيت Lewisite فتظهر أعراضه خلال بضع دقائق، فينتج عنه آلام عند التعرض له وملامسته للجلد. ويستخدم الغاز في صورة سوائل يتحول جزء منها بفعل الحرارة إلى ضباب وأبخرة سامة تنتشر في الجو.

وتتكون هذه المجموعة من غازات الخردل Mustard، وثنائي بروموثيل سلفيد واللوزيت. وقد استخدم غاز الخردل Mustard في الحرب العالمية الأولى في 12 يوليو من عام 1917م بواسطة القوات الألمانية ضد القوات الروسية على

الجبهة الغربية في أيبر. وقد أنتج منه حوالي 250 ألف طن في الفترة قبل نشوب الحرب العالمية الثانية ولكنه لم يستخدم في تلك الحرب.

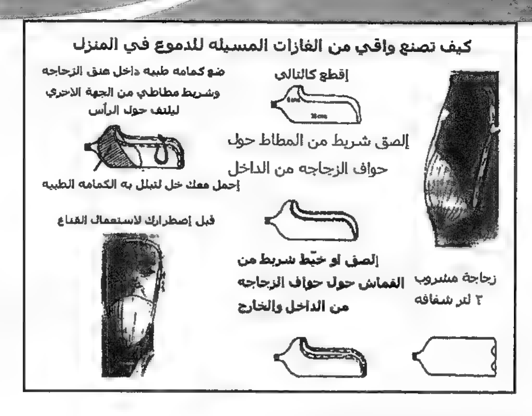


هـ) الغازات المقيئة:

وهي تسبب تهيج للأغشية المخاطية للأنف والحنجرة، كما تسبب أيضاً كحة وعطساً وتتساقط الدموع نتيجة تأثيرها على العين. وغالباً ما يصاحب ذلك صداع شديد وقيء. ومن أنواع هذه الغازات غاز كلوريد فينا رسازين.

و) الغازات المسيلة للدموع:

وتشتمل على غاز الكلور أسيتوفينون، كما تضم مجموعة الغازات المسيلة للدموع مركبات عديدة مختلفة التركيب جميعها تحتوي على هاليدات الهيدروكربونات العطرية أو غير العطرية، وتتميز الغازات المسيلة للدموع بتأثيرها الفوري على العين حيث تسبب تهيجاً شديداً للأعين مما ينتج عنه إفرازاً شديداً للدموع، كما تهيج أعصاب العين علاوة على ذوبانها في دهون الأنسجة الجلدية والتي تحتوي على أعصاب العين وقد تم إنتاجها بواسطة الولايات المتحدة عام 1918م.



ز) غازات شل القدرة (الغازات النفسية):

وهي مواد تؤثر على السلوك النفساني والمزاج الشخصي، تجعل الفرد يفقد السيطرة على نفسه ويتصرف تصرفات غير إرادية لفترة زمنية محددة.

وتعتبر الغازات النفسية ضمن مجموعات الغازات المزعجة من وجهة النظر الأمريكية على أساس أنها تسبب فقداً مؤقتاً لبعض الوظائف الحيوية بالجسم وبالتالي التأثير على القدرة القتالية للقوات نتيجة للجرعات المحدودة من هذه المواد والتي لا تؤدي إلى القتل.

ولكن استمرار مظاهر الاختلال النفسي عند الأفراد في حالة زيادة الجرعة عن الحدود المسموح بها قد يسبب أمراضاً نفسية تستمر مع الفرد طول حياته، وكان أول ما نشر عن استخدام المواد النفسية في الأغراض الحربية في مارس من عام 1963م وكان عن استخدام القوات الأمريكية لغاز (BZ) في فيتنام، وقد ذكر أن من تأثير هذه المادة على الأفراد المصابين حدوث مظاهر الخوف والفزع المصاحبة بألم في الرأس وفقد السيطرة، وكان ذلك أول استخدام

حربي ميداني للغازات الحربية النفسية. وتقسم هذه الغازات من الناحية العقاقيرية إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

1) غازات نفسية ذات أصل نباتي أو حيواني مثل LSD.

2) غازات نفسية تخليقية مثل BZ.

3) تقسم الغازات الحربية من حيث مدة استمرارها في ميدان القتال إلى:

أ) غازات غير مستمرة:

وهي غازات تحتفظ بخواصها، وكفاءتها الحيوية، ويستمر مفعولها لبضع دقائق من لحظة استخدامها. وتشمل غازات الدم، والغازات الخانقة، والمقيئة، والمسيلة للدموع وغازات شل القدرة.

ب) غازات مستمرة:

وهي غازات تحتفظ بخواصها، وكفاءتها الحيوية ويستمر مفعولها أكثر من 12 ساعة وقد تصل إلى عدة أيام وتشمل الغازات الكاوية وغازات الأعصاب.

4) تقسم الغازات الحربية من حيث استمرار سرعة التأثير إلى:

أ) غازات سريعة التأثير:

وتشمل غازات الأعصاب، وغازات الدم، وغازات الإزعاج، وغازات شل القدرة.

ب) غازات ذات تأثير مؤجل:

وهي الغازات التي تظل فترة كامنة التأثير تصل إلى بضعة ساعات. وتشمل الغازات الكاوية (عدا غاز اللويزيت) والغازات الخانقة.

المواد الحارقة:

المواد الحارقة هي مركبات كيماوية لها تأثير حارق وتتوافر فيها شروط معينة للاستخدام العسكري أهمها:

أن تعطي كمية كبيرة من النيران، وأن يصعب إطفائها ، وأن يكون لها قدرة على الانتشار مع إعطاء درجة حرارة عالية.

أولاً: أقسام المواد الحارقة

1) مواد حارقة صلبة: مثل الثرميت والفوسفور الأبيض والإلكترون والمغنيسيوم والصوديوم.

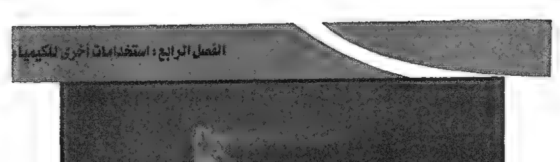
2) مواد حارقة سائلة: مثل مخلوط بترولي غير مغلظ أو مخلوط مثل النابالم.

3) مخلوطات حارقة من مواد صلبة وسائلة: وهي مزيج من مواد بترولية ومعدنية من البيروجيل.

ثانياً: أنواع المواد الحارقة

1) الفسفور:

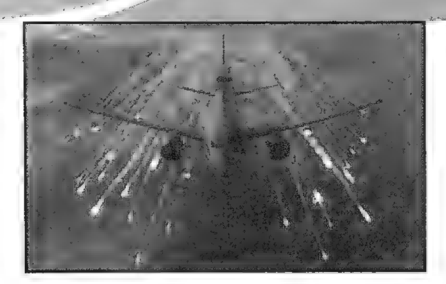
يستعمل الفسفور الأبيض في القنابل الحارقة حيث يتبخر بسرعة ويلتهب بملامسته للهواء مسبباً حريقاً ذو لهب وحرارة شديدة. ويُعَبأ غالباً في القنابل اليدوية وذخائر المدفعية والهاونات وقذائف الصواريخ.





2) الثرميت:

اكتشف عام 1894، وأدخل في صناعة القنابل الحارقة حديثاً بديلاً عن الفوسفور وهو خليط من مسحوق الألومنيوم وأكسيد الحديد وهي لا تشتعل بالتسخين مهما كانت درجة حرارة التسخين عالية مما يجعله أكثر أماناً في التداول ولكنه يحترق بسرعة بالاشتعال منتجاً حرارة. ولهب شديدين وتصل درجة الحرارة الناتجة عن اشتعاله 2000: 3000 درجة ويعبأ الثرميت في قنابل يدوية وفي ذخائر المدفعية والهاون وقذائف الصواريخ. كما يعبأ أيضاً في قنابل ومستودعات الطائرات. ولحرارته الشديدة يستخدم أحياناً لجذب الصواريخ الباحثة عن الحرارة بعيداً عن أهدافها.



3) غلاف القنابل:

وهو سبيكة من الألومنيوم والمغنيسيوم تنصهر في درجة حرارة عالية تصل إلى 450: 600 درجة، ولحالته الصلبة يصنع منه الغلاف الخارجي للقنابل شديدة الأنفجار حيث يساعد انفجارها لصهره وتطايره في حالة سخونة شديدة تساعد على اشتعال الحرائق. وهو بهذه الصفة يعتبر مكمل للمواد شديدة الانفجار لزيادة تأثيرها.



4) النابالم:

وهو أهم وأخطر المواد الحارقة وأكثرها انتشاراً واستخداماً. ويكون من ملحين من أملاح الألومنيوم هما النفتالينات، والبالمتيات، حيث اشتق اسمه مع إضافة الكيروسين.

والنابالم يتصف باللزوجة الغير ثابتة حيث يتأثر بالضغط فيسيل. وإذا زال عنه الضغط يعود لحالته السابقة في شكل مسحوق خشن أبيض. وبإضافة الكيروسين للمسحوق نحصل على مادة لزجة يميل لونها للاصفرار هي النابالم. ويلتصق النابالم بالأجسام والأسطح مهما كانت ناعمة أو ملساء ويؤدي إلى حدوث جروح وتشوهات قاسية.

ويستخدم النابالم بواسطة:

أ) قاذفات اللهب الخفيفة والثقيلة والميكانيكية.

ب) قنابل المدفعية والهاونات.

جـ) الصواريخ التكتيكية.

د) الألغام الأرضية.

هـ) قنابل الطائرات ومستودعاتها.

و) الرش من الطائرات على مساحة من الأرض ثم يطلق عليها قنابل أو صواريخ حارقة فتشتعل المنطقة بأكملها.

نماذج من الصناعات الكيميائية العضوية وغير العضوية:

تعتبر الصناعات الكيميائية العضوية هي الصناعات التي تتكون من مواد كيميائية عضوية يدخل الكربون في تكوينها إلا أن كثيراً من المواد المستخدمة يدخل في تكوينها خليط من مواد كيميائية عضوية وغير عضوية وكمثال على ذلك الأصباغ (البويات) والمبيدات الكيميائية والأسمدة والصابون والمنظفات.

أما الإسمنت بالذات فهو مكون من مواد غير عضوية فقط.

1) الاسمنت:

يتكون مسحوق الإسمنت من أربعة مركبات رئيسية هي:

1. سيليكات ثلاثي الكالسيوم Ca_3SiO_5.
2. سيليكات ثنائي الكالسيوم Ca_2SiO_4.
3. ألومينات ثلاثي الكالسيوم $Ca_3Al_2O_6$.
4. ألومينو الحديد رباعي الكالسيوم $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$.

إضافة إلى كميات قليلة من كبريتات الكالسيوم المائية CaSO4. 2H2O وأكسيد المغنيسيوم MgO. ويعد اسمنت بورتلاند من أشهر أنواع الإسمنت تداولاً وعادة ما يحتوي هذا النوع من الأسمنت على المركبات التالية:

أكسيد الكالسيوم	٪64
ثاني أكسيد السيليكون	٪21
أكسيد الألومنيوم	٪5.8
أكسيد الحديديك (Fe2O3)	٪2.8
أكسيد المغنيسيوم	٪2.5
ثالث أكسيد الكبريت	٪1.7
مركبات قلوية	٪1.4

(مثل أكسيد الصوديوم والبوتاسيوم).

2) الأصباغ (البويات):

كانت المواد الرئيسية الداخلة في تركيب معظم البويات هي الرصاص الأبيض $2PbCO_3\text{-}Pb(OH)_2$ وهو خليط من كربونات وهيدروكسيد الرصاص

وأكسيد الزنك ومادة ليثوبون $ZnS - BaSO_4$ Lithopone إضافة إلى بعض الأصباغ والألوان مثل أزرق البورسين $Fe_4(Fe(CN)_6)_3$ وكرومات الرصاص واكاسيد الحديد.

ونظراً لخطورة مركبات الصوديوم فقد استعيض عنها حالياً بثاني أكسيد التيتانيوم لتكوين عجينة البويات الأساسية كما استخدمت أكاسيد الكرميوم وهيدروكسيداته لإعطاء اللون الأخضر والأصفر والبرتقالي، وكذلك الكربون للون الأسود وبعض المركبات العضوية المختلفة لإظهار الألوان المطلوبة. والجدير بالذكر أن هناك الكثير من المواد القابلة للإشتعال تستخدم مذيبات في صناعة الأصباغ وتشمل هذه المذيبات كل من الهيدروكربونات والأيثرات والأسيتون وغيرها.

3) **المبيدات الكيميائية:**

اضطر الإنسان لاستعمال المبيدات الكيميائية للتخلص من الآفات والحشرات التي تفسد المحاصيل الزراعية وتنقل إليها الأمراض، وقد بدأ الاستعمال المكثف لهذه المبيدات منذ عام 1940م فاستعمل مبيد د. د. ت Diphenyl Dichloro Trichloroethane والذي كان له دور فعال في الحد من الآفات والحشرات النباتية إلى جانب بعض مركبات الكلور العضوية الأخرى والمبيدات الفوسفورية العضوية.

وأشهر أنواع المبيدات الكيميائية هي:

المبيدات الحشرية Insectisides، والمبيدات العشبية Herbieides والمبيدات الفطرية.

ويبين الجدول التالي الإنتاج الكلي لهذه المبيدات.

إنتاج المبيدات العضوية (مليون كيلو جرام)

أنواع المبيدات الكيميائية	1970	1975	1979
المبيدات الفطرية	64	70	70
المبيدات العشبية	184	358	299
المبيدات الحشرية	223	300	280
الإنتاج الكلي	471	728	649

ولقد استخدمت المركبات غير العضوية بادئ ذي بدء مثل: زرنيخ الرصاص، وزرنيخ الكالسيوم ثم كثر استخدام المركبات العضوية بعد ذلك.

المبيدات الحشرية:

يمكن تصنيف المبيدات الحشرية حسب تأثيرها. فهناك مبيدات حشرية سامة لمعدة الحشرات مثل ال د. د. ت، والهبتا كلور، ثلاثي الكلورفون، فثيون، كاربيل، كلورودين، ديلدرين. ومبيدات التلامس الحشرية والتي تنقل سمومها عند تلامسها مع الحشرات مثل: ال د. د. ت، كاربيل، ماليثون، روتينون، بارثيون، بارثيرينز، سلفات النيكوتين، إضافة إلى المبيدات الحشرية الضبابية والتي تنقسم إلى:

- مبيدات سائلة مثل ثاني كبريتيد الكربون، ورابع كلوريد الكربون.
- مبيدات غازية مثل برومور الميثيل، وأكسيد الإيثيلين.
- مبيدات صلبة مثل مبيد الفوستوكسين، وهو عبارة عن فوسفيد الألومنيوم الصلب والذي يتفاعل مع الماء لينتج غاز الفوسفين.

كما وتنقسم المبيدات الحشرية بشكل عام حسب تركيبها الكيميائي إلى:

1. مركبات غير عضوية:

وقد سبق الإشارة إلى أنها أول أنواع المبيدات الحشرية استخداماً، وأنها تشمل مركبات الزرنيخ، ويفضل من هذه المبيدات المواد غير القابلة للذوبان في الماء حتى لا تؤثر على النبات.

2. مبيدات نباتية الأصل:

كمبيد الروتينون والذي يستخلص من نبات الدرس، ومبيد النيكوتين ويستخرج من نبات الدخان (التبغ).

3. مبيدات عضوية مصنعة:

وتشمل المواد الهيدروكربونية الكلورية مثل ال د. د. ت، والألدرين، والكلوردان، وكذلك مركبات الفوسفور العضوية مثل الديازينون، والباراثيون.

4. المبيدات الخاصة:

وتكون موجهة ضد آفة معينة كمبيدات الأكادومس، مثل الكلوروبنزليت، أما النيوثران، ومبيدات القوارض، مثل ثالث أكسيد الزرنيخ والفوسفور الأصفر.

مبيدات الفطريات:

استعمل الكبريت لمقاومة الفطريات فيما مضى، على هيئة سائل برتقالي يحضر بإضافة الكبريت إلى معلق الجير المطفأ في الماء عند درجة الغليان. وقد استعمل بعد ذلك خليطاً من كبريتات النحاس والجير وعرف باسم "خليط بوردو" ثم استعمل بعد ذلك خليطاً آخر عرف باسم "خليط بورجندي" نسبة إلى المنطقة التي استخدم فيها في فرنسا. وتستعمل حالياً بعض أملاح النحاس في مكافحة الفطريات التي تنمو على أشجار الفاكهة مثل التفاح والكمثرى وغيرها، ومن أمثلتها أوكسي كلوريد النحاس $CuCl_2. 3Cu (OH_2)$.

وقد استعملت أملاح الزئبق لمكافحة الفطريات، وخاصة مركباته العضوية مثل "أسيتات فنيل" الزئبق وهي أكثر تطايراً من مركبات الزئبق غير العضوية، ولذلك يسهل انتشارها بين النباتات وفي خلال التربة. كذلك استعملت بعض أملاح النيكل سهلة الذوبان في الماء. مثل "كلوريد النيكل" الذي استعمل على هيئة محلول مخفف في مقاومة صدأ القمح، ولكن أي زيادة في تركيز أملاح النيكل يؤدي إلى تسمم النبات.

وتعتبر أملاح القصدير ومركباته العضوية أفضل من مركبات الزئبق لقلة سميتها ويعد "مركب ثلاثي بيوتيل أكسيد القصدير" من أفضل مركبات القصدير العضوية في مكافحة الفطريات. حتى أنه استعمل في صناعة النسيج لمنع تعفن الألياف، وفي حفظ الأخشاب وفي صنع طلاء مانع للحشف تُطلى به هياكل السفن.

$$(CH_4H_9)_3-SN \diagdown O \diagup (CH_4H_9)_3-Sn$$

$$(C_6H_5)_3-SN^{+}CH_3COO^{-}$$

ثلاثي بيوتيل أكسيد القصدير — أسيتات ثلاثي فينل القصدير

وتعتبر مشتقات القصدير العضوية المحتوية على مجموعات فينل -(C6H5) أقل سمية بالنسبة لكل من النباتات والثدييات، ومن أمثلتها مركب "أميتات ثلاثي فينل القصدير". المعروف باسم "فنتين" "Fentin" الذي أنتجته شركة "هوكست" الألمانية وهو من أفضل هذه المركبات في مكافحة الفطريات التي تنمو على البنجر والبطاطس.

كذلك تعتبر مركبات "ثنائي ثيوكر بامات" من أفضل المبيدات العضوية للفطريات رغم أنها كانت تحضر أصلاً لاستخدامها عوامل مساعدة في فلكنة المطاط، ومن أمثلتها مركب "ثيرام" "Thiram" الذي استعمل في مكافحة الفطريات التي قد تنمو على الخس والفراولة وغيرها، وكذلك مركب "نابام"

"Nabam" الذي استخدم في مكافحة الفطريات التي تنمو على الطماطم والبطاطس وغيرها، وهي تتميز بقلة سميتها كذلك استخدمت مشتقات الفنيولات المحتوية على الكلور لحفظ الأخشاب وبعض أنواع النسيج من مهاجمة الفطريات مثل "خماسي كلوروفينول" و"ثنائي كلوروفين" و" 4,2 – ثنائي نترو أورثوكريزول" (DNOC).

وهناك مبيدات أخرى للفطريات تنتمي إلى مجموعات أخرى من مجموعات الكيمياء العضوية مثل مشتقات الكينون والسلفوناميدات، والبيريميدين.

مبيدات الأعشاب:

هناك بعض النباتات الصغيرة أو الأعشاب التي تنمو وحدها في الحقول، وتنافس بعض المحاصيل الاقتصادية التي يحتاجها الإنسان، في الحصول على المادة الغذائية الموجودة بالتربة. وقد استعملت بعض المواد الكيميائية منذ زمن بعيد في قتل هذه الأعشاب، مثل الكريوزوت وكلورات الصوديوم وحمض البوريك واستخدم حتى حمض الكبريتيك لهذا الغرض، ولكن بعض هذه المواد كان يصيب المحاصيل ببعض الأضرار، كما كان يفسد التربة في أغلب الأحيان، ويجعلها غير صالحة للزراعة لمدة طويلة قد تصل إلى عدة سنوات.

وقد استخدم "ثنائي نترو أورثوكريزول" "DNOC" في قتل الأعشاب في فرنسا عام 1933 تحت اسم سينوكس في حقول القمح، ولكن تبين أن هذا المركب يضر كثيراً بالحيوانات التي تعيش في الحقول بكل أنواعها.

وأهم المركبات العضوية التي تستعمل في إبادة الأعشاب، مركب "ثنائي كلورو حمض فينوكسي أسيتيك" الذي يعرف باسم 2، 4 – د "2,4 – D"، وكذلك مركب مشابه له يعرف باسم (MCPA)، كما يستخدم مركب ثالث يعرف باسم "ثلاثي كلورو حمض فينوكسي أسيتيك" (2, 4 – T).

2، 4 ثنائي كلورو حمض فينوكسي أسيتيك (2، 4 – د)　　　بيكلورام

كذلك استخدمت بعض مشتقات حمض البنزويك مثل "ثلاثي كلورو حمض البنزويك" (TBA) ومثل "الديكامبا" في إبادة الأعشاب عريضة الأوراق.

ويعتبر البيكلورام أحد مشتقات البيريدين الهالوجينية وهو من أشهر المبيدات المعروفة لإسقاط الأوراق وقتل الأشجار، ونظراً لأنه شديد الثبات فقد أصبح استعماله محدوداً إلى حد كبير.

الأضرار الناشئة عن استخدام المخصبات والمبيدات:

يؤدي الإفراط في استخدام هذه المركبات الكيميائية إلى كثير من الأضرار للبيئة، فكثير من هذه المواد شديد الثبات ويبقى في التربة زمناً طويلاً، وقد يتسرب بعضاً منها إلى المياه الجوفية والمجاري المائية، وقد يصل إلى مياه الشرب.

وبالنسبة للمخصبات تعتبر أملاح الفوسفات التي تزيد عن حاجة النباتات وتبقى في التربة شديدة الضرر، فهي تؤدي إلى تكوين مركبات غير ذائبة مع كثير من الفلزات النادرة التي يحتاجها النبات، وبذلك تمنعه من الاستفادة بها، كما أن تسرب الفوسفات إلى المجاري المائية يؤدي إلى الحالة التي نسميها التشبع الغذائي، فتكثر الطحالب والبكتيريا اللاهوائية بالمياه. وتنمو بها النباتات وتتشابك مما يؤدي إلى قتل الأسماك وأغلب الكائنات البحرية الأخرى.

كذلك فإن ما يزيد عن حاجة النبات من أملاح النترات قد يصل إلى المياه الجوفية والمجاري المائية. ومنها يذهب إلى مياه الشرب. وقد تتحول أيونات النترات

إلى أيون النتريت السام بواسطة بعض البكتيريا الموجودة بجسم الإنسان، ويتسبب أيون النتريت في تغير طبيعة الدم ويجعله غير قادر على نقل الأكسجين إلى خلايا الجسم. كذلك قد يتحد أيون النتريت مع بعض الأمينات الموجودة بالجسم مكوناً مركبات "النتروزامين"، وهي مواد مسرطنة وشديدة السمية.

الأسمدة:

أولاً: الأسمدة النيتروجينية:

وهي على ثلاثة أنواع:-

1. كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ وتحتوي على 21٪ نيتروجين.
2. نترات الأمونيوم NH_4NO_3 وتحتوي على 35٪ نيتروجين.
3. اليوريا $(NH_2)_2CO$ وتحتوي على 46٪ نيتروجين.

واليوريا أعلى هذه الأنواع محتوى للنيتروجين ولا تترك مخلفات كيميائية في التربة في حين أن كبريتات الأمونيوم تخلف بعض مركبات الكبريت مثل كبريتات الصوديوم أو البوتاسيوم والتي تزيد من ملحية التربة وتؤثر على حامضية التربة. أما نترات الأمونيوم فمخلفاتها ذائبة وليست ضارة.

ثانياً: الأسمدة الفوسفاتية

1. **السوبر فوسفات:**

وينتج بتفاعل خام الفوسفات بحامض الكبريتيك، إذ يتكون فوسفات الكالسيوم الأحادي وهي المادة الرئيسية في هذا السماد وذلك وفقاً للتفاعل:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 + 4H_2O \longrightarrow CaH_4(PO_4)_2 + 2CaSO_4.2H_2O$$

ويحتوي هذا السماد على 16 – 20٪ من خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5.

2. السوبر فوسفات الثلاثية:

وتصنع بتفاعل خام الفوسفات بحامض الفوسفوريك وفقاً للتفاعل التالي:

$$CaF_2.3Ca_3(PO_4)_2 + 14H_3PO_4 \longrightarrow 10Ca(H_2PO_4)_2 + 2HF$$

أما بالنسبة للمبيدات فهي قد تقتل الحشرات النافعة مع الحشرات الضارة، كما أن بعض النباتات تمتص جزءاً من هذه المبيدات وتنتقل منها إلى الحيوانات وتظهر في لحومها وألبانها ثم تنتقل بعد ذلك إلى الإنسان. كذلك فإن استعمال تركيزات عالية من هذه المبيدات يقتل الطيور والماشية ويسبب ظهور حالات من التسمم بين الأفراد.

وقد أدى الإسراف الشديد في استعمال "د. د. ت" إلى وجود آثاره في كل مكان حتى أنه يقال أن هناك نسبة ما من هذا المبيد في جسم كل إنسان على سطح الأرض.

ويحتوي هذا السماد على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور تتراوح فيما بين 44 – 51٪.

3. فوسفات الأمونيوم الأحادية:

وينتج بتفاعل حامض الفوسفوريك والأمونيا ويحتوي عادة على نسبة 54٪ من خامس أكسيد الفوسفور.

ثالثاً: الأسمدة البوتاسية

وأهمها كبريتات البوتاسيوم وتحضر من تفاعل كلوريد البوتاسيوم مع حمض الكبريتيك وكذلك سماد نترات البوتاسيوم وتحضر بتفاعل كلوريد البوتاسيوم مع حمض النتريك وتحتوي خامات البوتاسيوم عادة على كلوريد وكبريتات البوتاسيوم وأملاح المغنيسيوم والصوديوم ويفصل كلوريد البوتاسيوم بالتعويم والإذابة ثم البلورة ليستخدم في تحضير الأسمدة البوتاسية (كبريتات ونترات البوتاسيوم).

رابعاً: الأسمدة المركبة

وهي أسمدة تحتوي على العناصر الغذائية الرئيسية لنمو النباتات (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)، وتحضر هذه الأسمدة فخلط السوبر فوسفات الثلاثية وفوسفات الأمونيوم الأحادية مع كلوريد البوتاسيوم وتنتج عادة على أنواع ثلاثة هي:

النوع الأول:

18 – 18 – 18 ويتكون من 18٪ نيتروجين و18٪ فوسفات (محسوبة كخامس أكسيد الفوسفور) و18٪ بوتاسيوم (محسوبة كأوكسيد البوتاسيوم K_2O).

النوع الثاني:

27 – 27 – 0 وهو خال من البوتاسيوم ويحتوي على 27٪ من النيتروجين و27٪ من الفوسفور (محسوبة كخامس أكسيد الفوسفور).

النوع الثالث:

0 – 23 – 23 وهو خال من النيتروجين ويحتوي على 23٪ من الفوسفور (محسوبة كخامس أوكسيد الفوسفور) و23٪ من البوتاسيوم (محسوبة كأكسيد البوتاسيوم).

إضافة إلى تركيبات مختلفة لهذه العناصر. حسب رغبة المستهلك واحتياج الأرض الزراعية.

الصابون

الصابون ملح ينتج عن تفاعل بعض الأحماض الدهنية والإيدروكسيدات مثل الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) وهيدروكسيد البوتاسيوم. ومن الأحماض الدهنية الشائعة الاستعمال في صناعة الصابون حمض الستاريك والباليتيك والأولييك واللاوريك والمايريستيك. وهناك طرق مختلفة لإتمام هذا التفاعل وفقاً للحمض الدهني المستعمل وللمواصفات المطلوبة للصابون المنتج وعموماً فإن مادة الصابون تتركب مما يلي:

حوامض شحمية	48.5٪
جليسرين	4.0٪
أكسيد الصوديوم	3.2٪
مواد زلالية غير دهنية	5.9٪
مواد ملونة	2.4٪
رطوبة	36.0٪

ومن المواد المضافة لتحسين مواصفات الصابون ما يلي:

كربونات الصوديوم: تضاف لتحسين قلوية الصابون وصلابته.

سيليكات الصوديوم: تساعد على التنظيف ومقاومة التأكسد.

مسحوق السويستون: لإظهار الملمس الناعم.

فوسفات الصوديوم الثلاثية: تساعد على التنظيف والتغلب على عسر الماء.

المنظفات:

تعد المنظفات من المواد المؤثرة على الشد السطحي للماء ومن أهم المواد الكيميائية الداخلة في تركيب المنظفات هي سلفونات بنزين الألكيل والتي

تحضر بكلورة الهيدروكربونات كبيرة (عدد ذرات الكربون 12 – 16 ذرة) ليربط جزيء البنزين بها وإزالة الكلور ثم تتفاعل مع ثالث أكسيد الكبريت أو مع حامض الكبريتيك الزيتي (أوليوم) وفقاً للتفاعل التالي:

$$CH_3(CH_2)_{10}CH_2-C_6H_5 + SO_3 \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3(CH_2)_{10}CH_2-C_6H_4-SO_3H$$

ثم تعادل سلفونات بنزين الألكيل بالصودا الكاوية إلى سلفونات الصوديوم وتبرد ثم يضاف إليها هيبوكلوريت الصوديوم لتتحول إلى حبيبات بيضاء ناصعة.

وعادة ما تضاف بعض المواد الكيميائية الأخرى لتحسين مواصفات المواد المنظفة وذلك مثل بوليفوسفات الصوديوم الثلاثية وسليكات الصوديوم القاعدية وكربونات الصوديوم وترايا زول البنزين وسيلولوز الكاربوكسي وغيرها.


الكيمياء
في حياتنا
دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع
المملكة الأردنية الهاشمية - عمّان - شارع الملك حسين
مجمع الفحيص التجاري - هاتف ، 4611169 6 962+
تلفاكس 4612190 6 962+ ص.ب 922762 عمّان 11192 الأردن
E-mail: safa@darsafa.net www.darsafa.net